I. Badea
Gh. Broșteanu
I. Chenzbraun
P. Columbeanu
R. Zane

Exploatarea instalațiilor de protecție și automatizare ale sistemelor electrice

Ing. I. Badea, Ing. Gh. Broşteanu, Ing. I. Chenzbraun
Ing. P. Columbeanu, Ing. R. Zane

Exploatarea instalaţiilor de protecţie şi automatizare ale sistemelor electrice

Editura tehnică
Bucureşti — 1964

Lucrarea prezintă procedeele de reglare, verificare și urmărire în exploatare a dispozitivelor de protecție prin relee și de automatizare ale sistemelor electrice. Ea cuprinde, de asemenea, descrierea constructivă și funcțională a aparatajului folosit pentru reglarea și verificarea instalațiilor.

Se adresează inginerilor și tehnicienilor care exploatează instalațiile de protecție și automatizare ale sistemelor electrice, reprezentînd o continuare a lucrării „Protecția prin relee și automatizarea sistemelor electrice" a acelorași autori.

PREFAȚĂ

Dezvoltarea industriei noastre energetice a impus creșterea continuă a numărului de instalații de producere și distribuire a energiei electrice și dotarea lor cu echipamente moderne.

Concomitent cu ridicarea nivelului de exploatare a instalațiilor, trebuie să crească în mod corespunzător atît numărul de cadre cît și cunoștințele lor profesionale.

Lucrarea de față urmărește să vină în sprijinul inginerilor, tehnicienilor și tuturor specialiștilor care se ocupă cu exploatarea și punerea în funcțiune a instalațiilor de protecție prin relee și automatizare ale sistemului energetic. În lucrare sînt expuse cunoștințele minime necesare completării și lămuririi problemelor legate de:

— calculele reglajelor principalelor tipuri de protecție

— reglarea și punerea în funcțiune a regulatoarelor automate de tensiune

— aparatele de măsurat și de încercare folosite în acest domeniu, în special cele de producție românească

— probele și verificările instalațiilor de protecție și automatizare

— documentele necesare evidenței și urmăririi comportării în exploatare a instalațiilor de protecție și automatizare.

În cuprins sînt expuse multe metode practice de verificare și punere în funcțiune a instalațiilor complexe care concură la buna funcționare a sistemului energetic. Principiile de funcționare ale instalațiilor de protecție și automatizare asupra cărora se aplică toate reglajele nu au fost descrise, întrucît lucrarea reprezintă o continuare a lucrării „Protecția și automatizarea sistemelor electrice" a acelorași autori, apărută în anul 1963.

AUTORII

1. REGLAREA PROTECȚIILOR

1.1. Reglarea protecțiilor simple

Pentru ca funcționarea releelor să fie sensibilă și selectivă, trebuie ca acestea să poată sesiza calitativ modificările diferiților parametri și să determine cantitativ valoarea acestor variații sau a parametrilor respectivi. Se poate spune că, în general, diferitele tipuri de relee se deosebesc între ele după parametrul electric a cărui modificare în caz de defecte o sesizează și după felul în care determină valoarea acestei variații sau a acestui parametru.

Reglarea unui releu este în principiu operația prin care acesta este făcut sensibil la o anumită valoare a parametrului electric pe care îl supraveghează, valoare la care releul trebuie să acționeze. Valorile diferiților parametri electrici la care releele corespunzătoare trebuie să acționeze, deci valorile la care acestea se reglează (așa numitele „reglaje" ale releelor) se stabilesc pe baza caracteristicilor rețelei în care se instalează releele și a calculelor de scurtcircuit în această rețea.

Cele mai simple relee de protecție sînt cele de curent și de tensiune, maximale sau minimale. În mod corespunzător, reglarea acestora este o operație foarte simplă.

Cele mai răspîndite relee de curent și de tensiune sînt cele de tip electromagnetic. După cum se știe, la acestea cuplul activ este proporțional cu pătratul curentului care străbate bobinajul, iar cuplul rezistent depinde de tensiunea resortului antagonist.

Operația de reglare a releelor de acest tip constă deci în stabilirea unei anumite tensiuni a resortului, pentru ca numai la o anumită valoare determinată a curentului ce străbate bobinajul releului (deci numai la o anumită valoare a curentului la releele de curent sau a tensiunii la cele de tensiune) cuplul activ determinat de acesta să poată depăși cuplul antagonist și releul să acționeze.

Stabilirea unei anumite tensiuni a resortului antagonist și deci a unei anumite valori a parametrului de acționare al releului,

adică reglarea acestuia, se face foarte ușor la releele electromagnetice; după cum se vede în fig. 1.1, prin rotirea cursorului *6* se modifică tensiunea resortului și deci cuplul rezistent exercitat asupra axului. Fiecărei poziții a cursorului îi corespunde o anumită tensiune a resortului și deci o anumită valoare a curentului

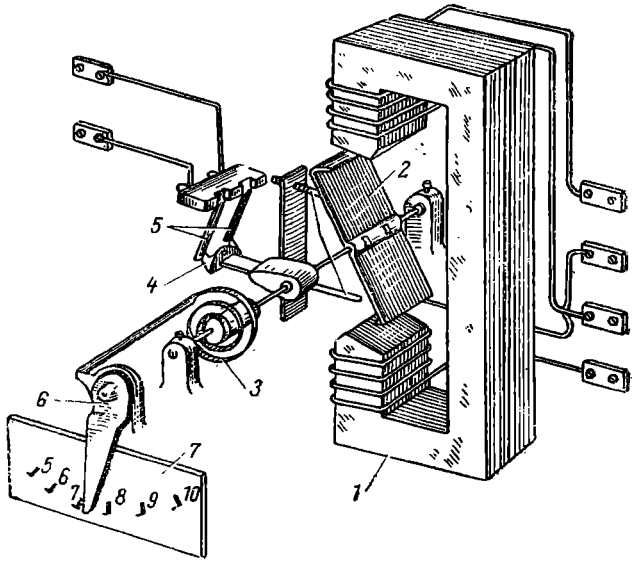


Fig. 1.1. Releu electromagnetic.

din bobinaj, la care cuplul activ depășește pe cel rezistent și deci plăcuța *7* prin fața căreia se deplasează cursorul *6* poate fi de la început etalonată în valorile parametrului (curentul sau tensiunea) la care se produce acționarea. Deoarece nici cuplul nu crește liniar cu unghiul de rotire al cursorului și nici cuplul activ nu crește liniar cu curentul din bobinaj (ci cu pătratul acestuia), scara de reglare a valorilor de acționare a releului, indicată pe plăcuța *7*, nu este liniară.

Totodată trebuie menționat că, datorită modificării în timp a calității resortului, a variației tensiunii acestuia cu temperatura și cu umiditatea, cum și a altor factori, indicațiile scalei nu-și păstrează adesea valoarea în timp. De aci se desprind două concluzii importante pentru exploatare și anume:

— Reglarea releelor nu trebuie efectuată niciodată numai pe baza indicațiilor scalei (adică prin simpla potrivire a curso-

rului în dreptul valorii dorite), ci prin modificarea cu ajutorul cursorului a tensiunii resortului, în așa fel încît releul fiind excitat, să se producă acționarea la valoarea dorită a acestui parametru. Determinarea valorii de acționare trebuie deci efectuată experimental și nu prin indicația scalei releului.

— Periodic (periodicitatea se stabilește în general prin norme sau instrucțiuni), reglajele releelor trebuie verificate pentru a se constata că ele s-au păstrat constante în timp. Adesea la aceste verificări se constată modificări ale valorilor de acționare în raport cu cele stabilite inițial prin măsurare directă. In asemenea cazuri, dacă abaterile valorilor reale de acționare față de cele stabilite inițial nu sînt prea mari, prin modificări mici ale tensiunii resortului (cu ajutorul deplasării cursorului) reglajele se restabilesc la valorile dorite.

Varierea tensiunii resortului antagonist oferă o posibilitate de modificare în trepte mici (practic în mod continuu) a valorii de acționare, adică un „reglaj fin" al releului. La releele electromagnetice de curent și de tensiune fabricate la noi în țară, ca și la cele sovietice de același tip, folosite pe scară largă în instalațiile noastre, este prevăzută și posibilitatea de modificare a reglajului, prin schimbarea conexiunilor celor două secții din care este formată bobina releului, din serie în paralel sau invers, această schimbare efectuîndu-se la borne (v. fig. 1.1).

Pentru o aceeași poziție a cursorului, modificarea conexiunii din serie în paralel duce la dublarea valorii de acționare (doar jumătate din curentul total trece prin fiecare secție), deci releul are de fapt două scale ale valorii de acționare, între care există raportul 1/2, comutabile prin schimbarea conexiunii.

Reglarea releelor electromagnetice maximale și minimale de curent sau de tensiune constă în stabilirea valorii de acționare a singurului parametru electric (curentul sau tensiunea) controlat de releu.

După cum se știe, pentru releele de acest tip valoarea de „revenire" este acea valoare a parametrului controlat la care releul, după ce a acționat, revine în stare de repaus. Raportul dintre aceste două valori, numit *coeficient de revenire* nu se reglează în general în exploatare în funcție de caracteristicile rețelei, ci este determinat de tipul și de calitățile releului, depinzînd de o serie de particularități constructive ale acestuia, printre care cea mai importantă este cursa, forma și mărimea echipajului mobil. Ținînd seama de acest lucru, coeficientul de revenire al releelor electromagnetice poate fi totuși modificat în exploa-

tare, atunci cînd anumite condiții speciale ale rețelei cer o îmbunătățire a lui sau cînd se constată o valoare necorespunzătoare a acestuia.

Mărirea, deci îmbunătățirea coeficientului de revenire, se poate efectua în condiții de exploatare prin micșorarea cursei echipajului mobil, fără însă a se exagera în acest sens, pentru că această micșorare duce după cum se știe la slăbirea presiunii contactelor și implicit la micșorarea capacității de comutare a acestora. Cu ajutorul șuruburilor opritoare, se poate regla cursa elementului mobil al releelor electromagnetice fabricate la noi în țară.

Releele maximale de inducție utilizate la noi în țară nu au un reglaj fin al valorii de acționare ci unul în trepte, realizat prin modificarea numărului de spire ale bobinei parcurse de curent. Ele conțin după cum se știe și un element electromagnetic care are un reglaj fin (dar mai puțin precis), realizat prin modificarea cu ajutorul unui șurub a întrefierului echipajului electromagnetic.

La protecțiile maximale cu relee electromagnetice, temporizarea se realizează cu ajutorul unor relee de timp electromagnetice. Reglarea timpului de acționare al acestora constă în deplasarea, în dreptul unei scale gradate în secunde, a unui contact ce se fixează într-o poziție determinată. Contactul mobil care datorită mecanismului de ceasornicărie se deplasează cu viteză constantă îl ajunge pe cel fix, închizînd circuitul de acționare cu o întîrziere cu atît mai mare cu cît acesta a fost deplasat mai mult. Reglarea acestor relee este deci o operație simplă.

După cum se știe, reglajele protecțiilor maximale și minimale de curent sau de tensiune, stabilite în funcție de caracteristicile rețelei și de valorile parametrilor de defect, sînt diferite după destinația protecțiilor respective. Astfel, formulele de la care se pornește în stabilirea reglajelor protecțiilor celor mai uzuale sînt:

— pentru protecția maximală de curent,

$$I_{pp} = \frac{k_{sig}}{k_{rev}} I_{sarc}^{max};$$

— pentru protecția maximală de curent cu tăiere rapidă,

$$I_{pp} = k'_{sig} I_{sc}^{max};$$

— pentru protecția minimală de tensiune,

$$U_{pp} = \frac{U_{min \cdot expl}}{k_{sig} \cdot k'_{rev}},$$

unde:

I_{pp} și U_{pp} — sînt curentul și tensiunea de pornire (de acționare) ale protecției;

I_{sc}^{max} și I_{sarc}^{max} — curenții maximi de scurtcircuit și de sarcină ai elementului protejat;

$U_{min \cdot expl}$ — tensiunea minimă de exploatare în locul unde este instalată protecția;

k_{sig}, k'_{sig}, k_{rev} și k'_{rev} — coeficienții de siguranță și revenire, diferiți după natura elementului protejat și a releului folosit.

Pornind de la aceste formule și ținînd seama de diversitatea caracteristicilor elementelor protejate și a transformatoarelor de măsură cu care sînt prevăzute, rezultă o gamă largă a reglajelor necesare ale releelor. Releele trebuie realizate însă pentru o precizie cît mai mare și mai uniformă pe întreaga scală, cu intervale restrînse ale reglajelor posibile.

Se construiesc deci mai multe grupe de relee de același tip dar cu domenii de reglaj distincte, care se deosebesc între ele prin caracteristicile bobinelor lor, care acoperă în general nevoile practicii. La alegerea releelor destinate unui anumit obiect protejat trebuie deci să se țină seama de intervalele de reglaj posibile. Totodată diferența dintre diferitele grupe constînd doar în caracteristicile bobinelor, prin rebobinarea releelor li se poate modifica intervalul de reglaj.

Din cele expuse rezultă că reglarea protecțiilor maximale și minimale de curent sau de tensiune constituie o problemă relativ simplă și că eventualele necorespondențe între indicațiile scalelor acestora și valorile reale ale reglajelor pot fi ușor corectate prin modificări ale tensiunii resortului antagonist, iar scala în întregime poate fi de asemenea ușor schimbată prin rebobinarea releelor.

Reglarea protecțiilor complexe (diferențiale, de distanță, cu filtre de componente simetrice) ridică însă probleme deosebite, fiind necesare aproape totdeauna (chiar după cunoașterea valorilor la care acestea trebuie să acționeze) calcule speciale sau folosirea unor curbe care țin seama de caracteristicile releelor

folosite. În prezentul capitol ne vom ocupa de reglarea protecțiilor celor mai uzuale din această categorie (protecțiile diferențiale și de distanță).

1.2. Reglarea protecției diferențiale

1.2.1. Releele diferențiale RDS-2 și DZT-1

Pentru a trata problema cît mai complet, vom analiza cazul reglării releelor RDS-2 în schema cu trei relee, pentru protecția unui transformator cu trei înfășurări, avînd surse la toate cele trei tensiuni. Cazurile particulare, ale existenței surselor la una sau două dintre cele trei tensiuni, sau ale transformatoarelor cu două înfășurări, se vor putea deduce ușor prin simplificare, din cazul complet, acolo unde va fi cazul, simplificările respective fiind menționate și în cele ce urmează.

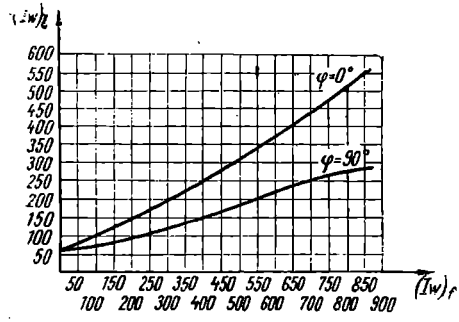


Fig. 1.2. Caracteristica $(Iw)l = (Iw)f$ a releului RDS-2.

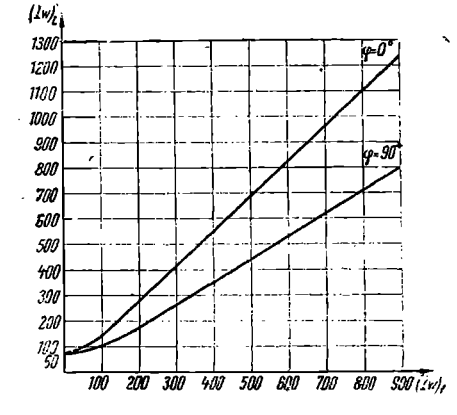


Fig. 1.3. Caracteristica $(Iw)l=(Iw)f$ a releului DZT-1.

Releele RDS-2 și DZT-1 caracterizîndu-se prin existența unei înfășurări de frînare a transformatorului cu saturație rapidă al releului, au caracteristica de frînare:

$$(Iw)_l = F[(Iw)_f],$$

în care

$(Iw)_l$ este t.m.m. a înfășurării de lucru;

$(Iw)_f$ — t.m.m. a înfășurării de frînare.

Funcția $(Iw)_l = f[(Iw)_f]$ nu este liniară și ea constă de fapt dintr-o familie de curbe, cu parametrii depinzînd de defazajul dintre curentul prin bobina de lucru I_l și curentul prin bobina de frînare I_f. Curbele limită ale familiei de

funcții $(I\omega)_t = f[(I\omega)_f]$, pentru releele RDS-2 și DZT-1, sînt indicate în fig. 1.2 și 1.3. În calculele reglajului protecției diferențiale cu aceste tipuri de relee, vor fi necesare ambele curbe limită ale familiei de caracteristici. În cele ce urmează, vom indica etapele succesive ale stabilirii reglajului protecției diferențiale prin relee RDS-2, pentru cazul general menționat.

Stabilirea înfășurării transformatorului căreia i se va afecta înfășurarea de frînare. Se stabilesc curenții primari I_1, I_2 și I_3 ai transformatorului pe cele trei înfășurări, corespunzători prizei medii a comutatorului de ploturi și puterii aparente nominale a înfășurărilor de 100%, indiferent dacă una din înfășurări are prin fabricație o putere redusă. În continuare, în funcție de raportul de transformare al fiecărui grup de transformatoare de curent al celor trei înfășurări, de conexiunile primare ale înfășurărilor transformatorului și de conexiunea corespunzătoare a transformatoarelor de curent (stea sau triunghi, după cum înfășurarea primară respectivă are conexiunea triunghi sau stea), se determină curenții secundari corespunzători celor trei înfășurări, i_1, i_2 și i_3.

În continuare se determină aproximativ curenții secundari de dezechilibru ce apar în înfășurarea de lucru la un scurtcircuit exterior trifazat metalic la bornele transformatorului, în condițiile în care înfășurarea primară căreia îi este afectată înfășurarea de frînare a releului are întrerupătorul respectiv deschis, iar la celelalte înfășurări sînt racordate maximum de surse. În funcție de curenții de dezechilibru obținuți se calculează în continuare curenții de pornire ai protecției.

Se observă că în cazul afectării înfășurării de frînare a releului unei anumite înfășurări primare, de exemplu înfășurării de I.T., și ținînd seama că în conformitate cu premizele de calcul stabilite mai sus această înfășurare este deconectată, vor fi posibile două valori ale curentului de scurtcircuit: una pentru un scurtcircuit la bornele de M.T. și una pentru un scurtcircuit la bornele de J.T. ale transformatorului. Implicit vor fi posibile două valori ale curentului de pornire al protecției în înfășurarea de lucru a releului.

Se repetă operația pentru cazul afectării înfășurării de frînare a releului, înfășurării de M.T. și apoi celei de J.T., obținîndu-se trei grupe de cîte două valori pentru curentul de pornire al protecției. Scopul calculului este acela de a se alege din cele trei grupuri de valori grupul cel mai favorabil, adică cel care are cei mai mici curenți de pornire ai protecției.

Acest grup de valori, cel mai favorabil, o dată ales, este aleasă totodată și înfășurarea transformatorului căreia i se va

afecta bobina de frînare a releului. Într-adevăr, cel mai rațional este a se afecta înfășurarea de frînare a releului acelei înfășurări a transformatorului, care în cazul întreruperii ei sau a circuitului secundar respectiv (deci implicit în cazul lipsei unui curent de frînare în releu) conduce, în eventualitatea unui scurtcircuit exterior, la cel mai mic curent minim de acționare al protecției.

În legătură cu calculele necesare stabilirii plasării optime a înfășurării de frînare, mai este necesar a se preciza modul de calcul aproximativ menționat mai sus al curenților de pornire ai protecției, care apar în înfășurarea de lucru la un scurtcircuit exterior.

Pentru comparare se folosesc curenții de pornire ai protecției calculați neglijîndu-se eroarea datorită imposibilității fixării exacte la valoarea necesară a numărului de spire ale înfășurărilor de egalizare, care au un reglaj discontinuu prin ploturi. Neglijarea este impusă de faptul că în etapa actuală a calculului, ploturile înfășurărilor de egalizare nu sînt încă fixate.

În aceste condiții de aproximare, curentul primar de pornire al protecției este cel mai mare dintre curenții I'_{pp} determinat de erorile datorite transformatoarelor de curent și comutatoarelor de ploturi, și I''_{pp} datorit șocului de magnetizare.

$$I'_{pp} = K_n(K_{ap} f_i I_{sc\cdot max} + \Delta U_\alpha I_{sc\cdot max} + \Delta U_\beta I_{sc\cdot max})$$

unde: $K_n = 1{,}5$ este coeficientul de siguranță;

K_{ap} — coeficient ce ține seama de eroarea datorită componentei aperiodice, releul RDS avînd transformator cu saturație rapidă, se ia $K_{ap} = 1$;

f_i — coeficient ce ține seama de eroarea maximă a transformatoarelor de curent, care se ia de 10%, de unde $f_i = 0{,}1$;

$I_{sc\cdot max}$ — se calculează în condițiile menționate mai sus (pag. 11);

ΔU_α, ΔU_β — valoarea procentuală a semiplajei de reglare, cu ajutorul comutatoarelor de ploturi, a tensiunii înfășurărilor α și β pe care există comutator;

$I_{\alpha sc\cdot max} \cdot I_{\beta sc\cdot max}$ — valorile curentului de scurtcircuit în înfășurările α și β, calculate în aceleași condiții ca $I_{sc\cdot max}$.

$$I''_{pp} = KI_{nom},$$

unde: $K = 1{,}2 \ldots 1{,}5$ este coeficientul de siguranță.

Determinarea numărului de spire ale înfășurărilor de lucru și de egalizare. Se obișnuiește să se fixeze între bornele *3* și *4* ale releului RDS-2 (cu contribuție directă în înfășurarea de lucru, fără intermediul unei bobine de egalizare) transformatoarele de curent corespunzătoare acelei înfășurări, care au curenții secundari cei mai mari. Această înfășurare se numește *înfășurare de bază,* iar curentul secundar respectiv, care circulă direct în înfășurarea de lucru, *curent secundar de bază.*

Numărul necesar de spire ale înfășurării de lucru a releului se determină pornind de la curentul de pornire al protecției I_{pp}, corespunzător fixării alese deja a înfășurării de frînare.

Curentul secundar de pornire al releului i_{pr} corespunzător curentului primar de pornire al protecției I_{pp} se obține cu formula

$$i_{pr} = \frac{I_{pp} \frac{U_{nf}}{U_{nb}}}{n_b},$$

în care: U_{nf} este tensiunea nominală a înfășurării transformatorului căreia îi este aferentă înfășurarea de frînare și pentru care s-a calculat I_{pp};

U_{nb} — tensiunea nominală a înfășurării de bază;

n_b — raportul de transformare al transformatoarelor de curent de pe înfășurarea de bază; în cazul în care transformatoarele de curent de pe această înfășurare sînt legate în triunghi, $\frac{n_b}{\sqrt{3}}$.

Apare deci clar că $i_{p.r}$ este reflectarea în bobina de lucru (legată conform celor de mai sus la transformatoarele de curent ale înfășurării de bază) a curentului primar minim de pornire al protecției $I_{p.p}$, din înfășurarea transformatorului căreia îi este aferentă înfășurarea de frînare a releului.

Numărul de spire ale înfășurării de lucru a releului se alege astfel încît $i_{p.r}$ să provoace la limită acționarea releului în absența frînării. Se obține o primă valoare cu formula

$$w_{l.nec} = \frac{(wI)_l}{i_{p.r}},$$

în care $(wI)_l$ este t.m.m. necesară pentru acționarea releului în absența frînării, egal aproximativ cu 60 A·sp atît pentru releul RDS-2 cît și pentru releul DZT-1.

Deoarece din această formulă se obține un număr fracționar sau imposibil de fixat la bobina de lucru care este reglabilă numai

cu ajutorul ploturilor fixe, se alege numărul de spire ale bobinei de lucru $w_{l\cdot a}$ la o valoare posibilă de reglat, $w_{l\cdot a} \leqslant w_{l\cdot n}$.

Cifra aleasă se fixează totdeauna mai mică decît cifra calculată, deoarece curentul $i_{p\cdot r}$ corespunde în bobina de lucru lui I_{pp}, care ține seama de coeficientul de siguranță față de curentul de dezechilibru maxim; deci în bobina de lucru nu trece, la un scurtcircuit exterior, un curent egal cu $i_{p\cdot r}$ nici chiar în cele mai grele condiții. Pentru a nu se reduce totuși coeficientul de siguranță amintit mai sus, numărul de spire se ia mai mic decît cel calculat.

Numărul de spire ale înfășurărilor de egalizare ale releului se alege astfel:

— pentru înfășurarea de egalizare I,

$$w_{eIn} = w_{la} \frac{i_b}{i_I};$$

— pentru înfășurarea de egalizare II

$$w_{eIIn} = w_{la} \frac{i_b}{i_{II}},$$

unde: i_b este curentul secundar de bază;

i_I — curentul secundar prin înfășurarea de egalizare I;

i_{II} — curentul secundar prin înfășurarea de egalizare II.

Justificarea acestor formule rezultă evident din însăși noțiunea de egalizare; ea face ca în transformator, în lipsa unui scurtcircuit interior, suma vectorială a t.m.m. ale înfășurărilor de egalizare și de lucru să fie nulă.

În funcție de ploturile disponibile ale bobinelor de egalizare, prin rotunjire în minus din aceleași motive ca la alegerea spirelor înfășurării de lucru, se alege numărul de spire ale celor două bobine de egalizare $w_{eIa} \leqslant w_{eIn}$ și $w_{eIIa} \leqslant w_{eIIn}$.

Determinarea numărului de spire ale înfășurării de frînare. Se calculează curenții pentru scurtcircuitul exterior cel mai defavorabil, adică pentru cazul în care scurtcircuitul este pe o altă înfășurare decît cea căreia îi este aferentă înfășurarea de frînare a releului, cu surse minime pe această înfășurare și maxime pe celelalte.

Pentru fiecare dintre aceste cazuri de scurtcircuit se calculează curentul primar de dezechilibru. Acest lucru se poate face de această dată exact, acum existînd toate condițiile de calcul:

$$I_d = K_{op} f_i (I_{sc\cdot I} + I_{sc\cdot II} + I_{sc\cdot III}) + \Delta U_a I_{asc\cdot max} + \Delta U_\beta I_{\beta sc\cdot max} +$$

$$+ \frac{w_{eIn} - w_{eIa}}{w_{eIn}} I_{sc\cdot eI} + \frac{w_{eIIn} - w_{eIIa}}{w_{eIIn}} I_{sc\cdot eII},$$

unde: K_{ap} și f_i au aceeași semnificație ca mai sus;

I_{scI}, I_{scII}, I_{scIII} — curenții de scurtcircuit în condițiile specificate mai sus, reduși la tensiunea înfășurării transformatorului căreia îi este aferentă înfășurarea de frînare a releului;

$I_{sc.eI}$ și $I_{sc.eII}$ — curenții de scurtcircuit corespunzători înfășurărilor cărora le sînt aferente înfășurările de egalizare I respectiv II;

$I_{\alpha sc.max}$ și $I_{\beta sc.max}$ — curenții de scurtcircuit corespunzători înfășurărilor cu comutator de reglaj al tensiunii.

Numărul de spire ale înfășurării de frînare se alege astfel încît, în cazul scurtcircuitelor exterioare cele mai defavorabile, punctul de funcționare al releului să fie în zona de blocare a caracteristicii de acționare, independent de defazajul dintre curenții din bobina de frînare și din cea de lucru ale releului.

Asimilînd cea mai defavorabilă curbă din familia de caracteristici (cea inferioară, corespunzătoare defazajului de 90°) cu o dreaptă cu coeficient unghiular tg α, trecînd prin origine și tangentă la curba respectivă, rezultă că pentruca punctul de funcționare să fie în zona de blocare este necesar ca

$$\frac{I_d \cdot w_{eIn}}{I_{sc.f} \cdot w_f} < \operatorname{tg} \alpha,$$

unde: $I_{sc.f}$ este curentul de scurtcircuit în înfășurarea căreia îi este aferentă înfășurarea de frînare;

w_f — numărul de spire ale înfășurării de frînare.

Remarcăm că t.m.m. de lucru $I_d \cdot w_{eIn}$ s-a calculat înmulțindu-se curentul primar de dezechilibru I_d cu numărul necesar de spire ale bobinei de egalizare care este în serie cu înfășurarea de frînare, pentru a se traduce acest curent primar în secundar la aceeași scară cu curentul primar de frînare $I_{sc.f}$, care și el la rîndul lui este înmulțit în expresie cu numărul de spire ale înfășurării de frînare w_f.

Luîndu-se în considerare și un coeficient de siguranță $K = 1{,}5$, rezultă

$$K \frac{I_d w_{eIn}}{I_{sc.f} \cdot w_f} \leqslant \operatorname{tg} \alpha$$

de unde

$$w_f \geqslant \frac{K I_d \cdot w_{eIn}}{I_{sc.f} \cdot \operatorname{tg} \alpha}.$$

Se alege pentru numărul de spire ale înfășurării de frînare $w_{f.a}$ cea mai mare dintre valorile w_f rezultate din analiza cazurilor scurtcircuite de mai sus, rotunjită la o valoare posibil de reglat cu ajutorul ploturilor înfășurării de frînare.

Pentru releul RDS-2 tg $\alpha=0{,}35$, iar pentru releul DZT-1, tg $\alpha=0{,}83$.

Se recomandă totuși ca determinarea numărului de spire ale înfășurării de frînare, în special pentru releul RDS-2 (și pentru releul DZT-1, cînd t.m.m. de lucru este mai mică decît 100) să se facă grafic, calculul analitic ducînd la un număr de spire exagerat de mare al înfășurării de frînare, rezultată din însăși plasarea sub curba reală a tangentei cu care s-a asimilat curba pentru calculul analitic.

Determinarea grafică se face calculîndu-se $K \cdot I_d.w_{eln}$, luîndu-se valoarea respectivă în ordonata caracteristicii de frînare a releului și aflîndu-se în abscisă valoarea lui $I_{sc.f} \cdot w_f$, din care cunoscîndu-se $I_{sc.f}$ se află ușor w_f.

Verificarea sensibilității protecției reglate (cazul lipsei frînării). Se calculează curenții de scurtcircuit metalic în interiorul zonei protecției diferențiale, pentru cazul scurtcircuitelor la bornele fiecăreia din cele trei înfășurări, în condițiile în care înfășurarea căreia îi este aferentă înfășurarea de frînare este deconectată, iar dintre sursele legate la celelalte două înfășurări, una (cea mai puternică) este deconectată, iar cealaltă în regimul minim real posibil.

Pentru a se găsi cazul scurtcircuitului minim, se calculează pentru înfășurările cu transformatoarele de curent conectate în triunghi scurtcircuitele monofazat și trifazat (în schema de protecție realizată cu trei relee, sensibilitatea la scurtcircuitele bifazate și trifazate este aceeași în cazul legării transformatoarelor de curent în triunghi). Pentru înfășurările cu transformatoarele de curent conectate în stea, se calculează scurtcircuitele monofazat și bifazat (în acest caz curenții de scurtcircuit bifazat fiind mai mici decît cei trifazați). De observat că pentru toate aceste cazuri de scurtcircuit calculate în condițiile în care două dintre înfășurările transformatorului sînt deconectate se calculează de fapt un curent de scurtcircuit care circulă printr-o singură înfășurare.

Acești curenți de scurtcircuit minim au cîte un curent corespondent în circuitele secundare și în releu, rezultînd o t.m.m. de lucru în înfășurarea de lucru și eventual în una din înfășurările de egalizare. T.m.m. de lucru din toate aceste înfășurări de lucru se adună, rezultînd o valoare $(wI)_l$ la $I_{sc.min}$.

Condiția de sensibilitate este

$$K = \frac{(wI)_{l\cdot min}}{(wI)_l} \geqslant 2,$$

unde K este coeficientul de sensibilitate;

$(wI)_l$ — valoarea minimă de lucru a releului, în absența frînării, egală cu 60 A·sp.

Verificarea sensibilității protecției reglate (cazul prezenței frînării). Este necesar să se calculeze regimul de scurtcircuit cel mai defavorabil, în care frînarea să fie maximă și curentul în bobina de lucru minim.

Pentru aceasta se calculează de obicei curenții de scurtcircuit metalic la bornele fiecăreia din cele două înfășurări ale transformatorului, cărora nu le este aferentă bobina de frînare a releului, în condițiile în care la bornele înfășurării transformatorului căreia îi este aferentă înfășurarea de frînare a releului este conectată o putere minimă, iar celelalte înfășurări au întrerupătoarele deschise. După caz, se pot alege și alte cazuri de scurtcircuit defavorabil.

Pentru cazurile alese se calculează scurtcircuitele trifazat, bifazat sau monofazat. O dată curenții de scurtcircuit calculați pentru toate cazurile propuse se obțin fără dificultăți de calcul, curenții secundari respectivi și t.m.m. de lucru și de frînare ale releului.

Plasîndu-se pentru fiecare caz de scurtcircuit t.m.m. de lucru și de frînare în planul $(Iw)_l = f[(Iw)_f]$ al releului și unind aceste puncte cu originea, se obțin drepte care constituie locul geometric al punctului de funcționare al releului, cînd curentul de scurtcircuit scade prin transformarea scurtcircuitului metalic în scurtcircuit prin arc cu rezistență. Cu cît rezistența arcului crește, cu atît punctul de funcționare se deplasează spre origine.

Condițiile ce se pun din punctul de vedere al sensibilității protecției sînt următoarele:

— raportul dintre valoarea ordonatei din planul $(Iw)_l = f[(Iw)_f]$ cuprinsă între fiecare punct de funcționare din cazul scurtcircuitelor alese și caracteristica de frînare a releului, pe de o parte și valoarea ordonatei pînă la abscisă a punctului de funcționare respectiv, pe de altă parte, să fie mai mare decît 0,1; în fig. 1.4. această condiție se traduce grafic prin relațiile:

$$\frac{\overline{aa'}}{\overline{aa''}} \geqslant 0,1\,; \quad \frac{\overline{bb'}}{\overline{bb''}} \geqslant 0,1\,; \quad \frac{\overline{cc'}}{\overline{cc''}} \geqslant 0,1\,; \quad \frac{\overline{dd'}}{\overline{dd''}} \geqslant 0,1\,;$$

— raportul dintre valoarea ordonatei din planul $(Iw)_l = f[(Iw)_f]$ al fiecărui punct de funcționare obținut și valoarea

ordonatei punctului de intersecție cu caracteristica de frînare a dreptei ce trece prin origine și prin punctul de funcționare respectiv, să fie mai mare decît 2; în fig. 1.4. această condiție este tradusă grafic prin relațiile:

$$\frac{\overline{aa''}}{\overline{ee'}} \geqslant 2;\ \frac{\overline{bb''}}{\overline{ee'}} \geqslant 2;\ \frac{\overline{cc''}}{\overline{ee'}} \geqslant 2;\ \frac{\overline{dd''}}{\overline{ff''}} \geqslant 2.$$

Condiția a doua asigură sensibilitatea în cazul scurtcircuitelor nemetalice, atunci cînd, după cum s-a precizat, punctul de funcționare se deplasează către origine.

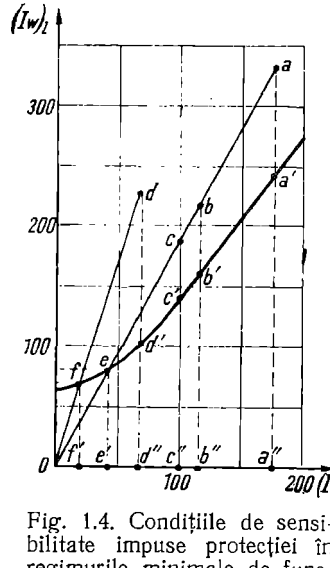


Fig. 1.4. Condițiile de sensibilitate impuse protecției în regimurile minimale de funcționare (cazul existenței frînării).

O precizare importantă în legătură cu calculul de mai sus este aceea că de această dată, calculîndu-se sensibilitatea la scurtcircuite interne, condițiile cele mai defavorabile sînt acelea cînd frînarea este maximă. Ca atare la verificarea condițiilor de mai sus se va folosi caracteristica de frînare a releului cu panta cea mai mare, adică cea corespunzătoare defazajului nul între curenții din bobinele de lucru și de frînare.

Exemplu de calcul. Vom calcula protecția diferențială cu releul RDS-2 a unui transformator coborîtor de 230/121/11 kV, cu o putere nominală de 240 MVA, cu reactanțele I.T. — M.T. de 23%, M.T. — J.T. de 8%, I.T. — J.T. de 15%. Transformatorul are reglaj de tensiune sub sarcină pe partea de 110 kV, între $\pm 10\%$. Pe partea de 10 kV este montat un compensator sincron de 75 Mvar, cu reactanța supratranzitorie $X''_d = 0{,}24$. Puterea echivalentă de scurtcircuit pe barele de 220 kV ale transformatorului, în regim maxim este de 7 000 MVA iar pe barele de 110 kV, tot în regim maxim, este de 3 500 MVA. În regim minim puterile respective sînt de 3 500 MVA la 220 kV și de 1 750 MVA la 110 kV.

Se calculează curenții secundari în circuitele de protecție, corespunzători puterii nominale a transformatorului protejat. Calculul este cuprins în tabela 1.1.

Pentru alegerea înfășurării transformatorului căreia este optim să i se afecteze înfășurarea de frînare a releului, se observă că sursele de pe partea de 10 kV a transformatorului sînt mult mai mici decît cele de la 220 kV sau 110 kV. Deci, conform § 1.2.1. se va calcula curentul de pornire al protecției I_{pp} numai pentru cazul scurtcircuitului la bornele de 10 kV ale transformatorului, pe rînd în condițiile înfășurării de 220 kV și apoi ale celei de

Tabela 1.1

Mărimea	220 kV	110 kV	10 kV
Curenții primari în înfășurările transformatorului protejat, corespunzătoare puterii lui nominale	$\frac{240\,000}{\sqrt{3}\cdot 230}=604$ A	$\frac{240\,000}{\sqrt{3}\cdot 121}=1\,146$ A	$\frac{240\,000}{\sqrt{3}\cdot 11}=12\,600$ A
Raportul de transformare n_T al transformatorului de curent	1 000/5	2 000/5	5 000/5
Conexiunile transformatoarelor de curent	Δ	Δ	Y
Curenții secundari în circuitele de protecție corespunzători puterii nominale a transformatorului protejat	$\frac{604\sqrt{3}}{1\,000/5}=5{,}23$A	$\frac{1\,146\sqrt{3}}{2\,000/5}=4{,}96$A	$\frac{12\,600}{5\,000/5}=12{,}6$ A

110 kV deconectate. Se obțin respectiv curenți de 4 170 A și 3 400 A, raportați la tensiunea de 115 kV.

Din acești curenți se determină valoarea curenților primari de dezechilibru respectivi I_{dez}, fără calculul componentei datorite inexactității fixării numărului necesar de spire ale înfășurărilor de egalizare ale releului și valorile orientative ale curenților de pornire ai protecției I_{pp}.

Pentru înfășurarea de frînare pe partea de 110 kV, curentul de pornire al protecției este

$$I'_{pp}=K_n\cdot K_{ap}\cdot f_i\cdot I_{sc.max}=1{,}5\cdot 1\cdot 0{,}1\cdot 3\,400=510\text{ A}.$$

Pentru înfășurarea de frînare pe partea de 220 kV, curentul de pornire al protecției este

$$I'_{pp}=K_n\cdot(K_{ap}\cdot f_i\cdot I_{sc.max}+\Delta U\alpha\, I\alpha_{\,sc.max})=$$
$$=1{,}5\,(1\cdot 0{,}1\cdot 4\,170+0{,}1\cdot 4\,170)=1\,250\text{ A}.$$

Curentul de pornire al protecției este pentru ambele cazuri

$$I''_{pp}=KI_{nom}=1{,}5\cdot 1\,146\cdot 0{,}5=860\text{ A}.$$

Rezultă că pentru înfășurarea de frînare la 110 kV, $I_{pp}=860$ A, iar pentru înfășurarea de frînare la 220 kV, $I_{pp}=1\,250$ A. În concluzie este

Tabela 1.2

Mărimea	Formula de determinare	Valoarea
Curentul secundar de pornire al releului	$i_{p.r} = \frac{I_{p.p.} \frac{U_{nf}}{U_{nb}}}{n_b}$	$\frac{860 \frac{121}{11}}{5\,000/5} = 9{,}45$ A
Numărul de spire necesare ale înfășurării de lucru a releului	$w_{l.n} = \frac{(wl)}{i_{p.r}} l$	$\frac{60}{9{,}45} = 6{,}35$
Numărul ales de spire ale înfășurării de lucru a releului	$w_{l.a}$	6
Curentul de pornirea real al releului, pentru înfășurarea de lucru	$i'_{p.r} = \frac{(wl)\, l}{w_{l.a}}$	$\frac{60}{6} = 10$ A
Numărul de spire necesare ale înfășurării de egalizare *II*, aferente părții de 220 kV	$w_{ell\,n} = wl_{.a} \frac{i_b}{i_{II}}$	$6 \frac{12{,}6}{5{,}23} = 14{,}5$
Numărul ales de spire ale înfășurării de egalizare a releului, aferentă părții de 220 kV	$w_{ell\,a}$	14
Numărul de spire necesare ale înfășurării de egalizare *I*, aferente părții de 110 kV	$w_{el\,n} = w_{l.a} \frac{i_b}{i_I}$	$6 \frac{12.6}{4{,}96} = 15{,}2$
Numărul ales de spire ale înfășurării de egalizare *I* a releului, aferentă părții de 110 kV	$w_{el\,a}$	15

corect să se conecteze înfășurarea de frînare la transformatoarele de curent pe partea de 110 kV, deoarece în acest caz valoarea curentului de pornire al protecției I_{pp} este mai mică decît în celălalt caz.

În continuare se determină numărul de spire al înfășurărilor de lucru și de egalizare ale releului. Cel mai mare curent secundar din circuitul protecției corespunzînd, conform tabelei 1.1, înfășurării de 10 kV, aceasta devine înfășurarea de bază, căreia i se afectează fără intermediar bobina de lucru a releului. Calculul se efectuează conform tabelei 1.2.

Se determină apoi numărul necesar de spire ale înfășurării de frînare. Se alege cazul scurtcircuitului metalic trifazat pe partea de 220 kV, în regimul minim de lucru al înfășurărilor de 10 kV și 110 kV (căreia îi este aferentă înfășurarea de frînare a releului). Se consideră regim minim pe 10 kV cel în care compensatorul sincron este totuși în circuit.

Nu se calculează și cazul scurtcircuitului pe partea de 10 kV, deoarece în acest caz raportul $\frac{I_d}{I_{sc.f}}$ este evident mai mic, deci și numărul necesar de spire ale înfășurării de frînare w_f este mai mic.

Tabela 1.3

Mărimea	Formula	Valoarea
Curentul primar de dezechilibru calculat ținînd seama și de imposibilitatea fixării exact la valoarea necesară a numărului de spire ale înfășurărilor de egalizare	$I_d = K_{ap} \cdot f_l (I_{scI} + I_{scII} + I_{scIII}) + \Delta U_a I_{a\ sc\cdot max} + \Delta U_\beta I_{\beta\ sc\cdot max} + \frac{w_n - w_a}{n} I_{sc\cdot e\cdot I} + \frac{w_{eIIn} - w_{eIIa}}{w_{eIIn}} I_{sc\cdot e\cdot II}$	$0{,}1 \cdot 5\,460 + 0{,}1 \cdot 4\,800 + \frac{14{,}5 - 14}{14{,}5} \cdot (-5\,460) + \frac{15{,}2 - 15}{15{,}2} \cdot 4\,800 = 1\,151$
Numărul necesar de spire ale înfășurării de frînare a releului	$w_f = \frac{K I_d \cdot w_{ea}}{I_{sc\cdot f}^{\cdot tg\alpha}}$	$\frac{1{,}5 \cdot 1\,151 \cdot 15{,}2}{4\,800 \cdot 0{,}83} = 6{,}6$
Numărul ales de spire ale înfășurării de frînare a releului	w_{fa}	$\cdot 8$

Curenții de scurtcircuit sînt în acest caz: la 220 kV, $I = 5\,460$ A; la 110 kV, $I = 4\,800$ A; la 10 kV, $I = 660$ A (raportați la tensiunea de 115 kV). Calculul se efectuează conform tabelei 1.3.

Sensibilitatea protecției în absența reținerii se determină conform principiilor expuse, pentru următoarele cazuri de scurtcircuite metalice.

— scurtcircuit trifazat la bornele transformatorului pe partea de 110 kV cu întrerupătoarele deschise pe părțile de 110 și 10 kV și în regim minim de alimentare pe partea de 220 kV;

— scurtcircuit monofazat, în același punct și în aceleași condiții;

— scurtcircuit bifazat la bornele transformatorului pe partea de 10 kV, cu întrerupătoarele deschise pe părțile de 110 și 10 kV și în regim minim de alimentare pe partea de 220 kV.

Se calculează curenții secundari corespunzători curenților primari și se obțin următorii curenți secundari pe partea de 220 kV:

— pentru primul caz

$$i_{sc} = \frac{7\,150 \cdot \frac{121}{230}\sqrt{3}}{1000/5} = 32{,}6 \text{ A};$$

$$K = \frac{32{,}6 \cdot 14}{60} = 7{,}6 > 2;$$

— pentru cazul al doilea

$$i_{sc} = 22{,}7 \text{ A};$$

$$K = \frac{22{,}7 \cdot 14}{60} = 5{,}3 > 2;$$

— pentru cazul al treilea

$$i_{sc} = \frac{2\,680 \cdot \frac{121}{230}\sqrt{3}}{1\,000/5} = 12{,}2 \text{ A};$$

$$K = \frac{12{,}2 \cdot 14}{60} = 2{,}85 > 2.$$

Se observă că pentru toate cazurile de scurtcircuit alese, coeficientul de sensibilitate este mai mare decît 2.

Ultima verificare necesară este cea a sensibilității protecției la defecte interne, în cazul existenței frînării. Conform principiilor expuse la § 1.2.1, se verifică sensibilitatea pentru următoarele cazuri de scurtcircuit:

— scurtcircuit trifazat la bornele de 220 kV, cu întrerupătoarele deschise pe părțile de 220 și 10 kV, în regimul minim de alimentare al sistemului de 110 kV;

— scurtcircuit monofazat în același punct și în aceleași condiții;

— scurtcircuit bifazat la bornele de 10 kV, cu întrerupătoarele deschise pe părțile de 10 și 220 kV, în regimul minim de alimentare al sistemului de 110 kV;

— scurtcircuit bifazat la bornele de 10 kV, cu întrerupătorul deschis la 10 kV și în regimul minim de alimentare al sistemelor de 110 și 220 kV.

Din curenții de scurtcircuit corespunzători defectelor examinate, se determină curenții secundari prin înfășurările de lucru și de frînare ale releului.

Pentru cazul scurtcircuitului trifazat pe partea de 220 kV curentul secundar pe partea de 110 kV este

$$i_{sc} = \frac{5\,080\sqrt{3}}{2\,000/5} = 22 \text{ A}.$$

Rezultă:

$$(Iw)_l = 22 \cdot 15 = 330 \text{ Asp};$$

$$(Iw)_f = 22 \cdot 8 = 176 \text{ Asp};$$

$(Iw)_l = 83$ Asp corespunzător segmentului $\overline{ee'}$, definit la § 1.2.1 (v. fig. 1.4, în care sînt notate tocmai valorile corespunzătoare acestui exemplu). Se verifică:

$$\frac{\overline{aa''}}{\overline{ee'}} = \frac{330}{83} = 3{,}97 > 2.$$

Analog se verifică, pentru celelalte cazuri, respectiv

$$\frac{\overline{bb''}}{\overline{ee'}} = 2{,}47 > 2; \quad \frac{\overline{cc''}}{\overline{ee'}} = 2{,}28 > 2; \quad \frac{\overline{dd''}}{\overline{ff'}} = 3{,}4 > 2.$$

După cum se vede din calculele expuse, în toate cazurile de defecte interne examinate, în prezența frînării, protecția realizată cu releul DZT-1 are sensibilitate suficientă din punctul de vedere al condiției a doua de la § 1.2.1.

Din examinarea fig. 1.4. se observă că punctele *a*, *b*, *c* și *d* corespunzătoare mărimilor $(Iw)_1$ și $(Iw)_f$ ale releului în cazurile de scurtcircuite interne cu frînare, se găsesc la distanțe ce depășesc cu 10% caracteristica superioară de frînare a releului, îndeplinindu-se astfel și prima condiție de la § 1.2.1.

1.3. Reglarea protecțiilor de distanță

1.3.1. Generalități

Diagrama de acționare a unei protecții de distanță $t=f(Z)$ este reprezentată în fig. 1.5. Parametrii ce trebuie stabiliți prin reglare la o protecție de distanță, pentru a se realiza o caracteristică de acest fel și care se stabilesc în funcție de caracteristicile rețelei și de reglajele protecțiilor elementelor învecinate sînt impedanța (sau reactanța) și timpul.

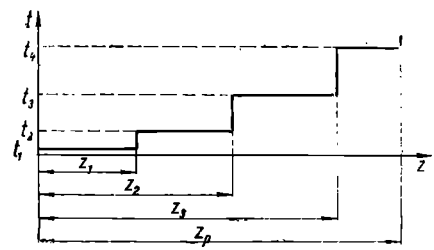


Fig. 1.5. Diagrama $t=f(Z)$ a unei protecții de distanță.

Pornirea protecției de distanță este realizată de organele de pornire, care sînt uneori tot relee de impedanță (la care parametrul reglabil este impedanța), iar alteori simple relee maximale (parametrul reglabil fiind curentul). Foarte adesea organele de pornire (de tipul releelor de impedanță) nu sînt reglabile în exploatare, astfel că singurul element ce se poate regla este timpul la care se produce acționarea în treapta finală și nu și valoarea sub care trebuie să scadă impedanța controlată de protecție, pentru a se produce pornirea.

Atît reglarea protecției pentru realizarea caracteristicii în porțiunea primelor trepte (treptele de măsurare), cît și reglarea organelor de pornire (atunci cînd aceasta este posibilă) se realizează, ca și la releele maximale simple, prin stabilirea poziției unor cursoare indicatoare în dreptul unor scale gradate direct în Ω sau în valori ce trebuie stabilite pe baza reglajelor în Ω (în ambele cazuri reglajul este fin); la unele protecții, așa cum se va arăta, se poate realiza doar un reglaj în trepte.

Asupra reglării temporizărilor nu insistăm, aceasta neridicînd probleme și efectuîndu-se după principiile arătate la reglarea protecțiilor maximale simple.

S-a văzut că la releele simple, maximale sau minimale, de curent sau de tensiune, valoarea de acționare se stabilește

printr-un buton sau cursor indicator care modifică tensiunea unui resort antagonist, deci eventualele necorespondențe între indicațiile scalei și valorile reale de acționare pot fi remediate ușor.

La protecțiile de distanță, reglarea care se realizează cu ajutorul unor butoane indicatoare, (de obicei cursoarele unor reostate), constituie o problemă mai complicată. Cunoașterea schemei interioare a releului și a felului în care modificarea poziției diferitelor cursoare realizează reglajele în Ω ale protecției este necesară pentru a se corecta eventuale defecțiuni, cum și pentru a se putea realiza și alte reglaje în afara limitelor prevăzute de fabrică, lucru adesea necesar în exploatare.

În cele ce urmează vom prezenta felul în care se realizează reglajele necesare ale releelor de distanță tip RD7, D110 și varianta mai perfecționată a acestuia D111 (acestea fiind tipurile de relee cele mai răspîndite la noi în țară în prezent și în viitorul apropiat), ale căror principii constructive sînt folosite și la alte tipuri.

Reglarea unora dintre elementele componente ale acestor protecții fiind foarte simplă și rezultînd direct din schema de funcționare, vom insista doar asupra problemelor de reglare mai deosebite pe care le pun protecțiile de distanță.

1.3.2. Reglarea protecției tip RD7

Schema generală de principiu a acestei protecții este indicată în [B.1., fig. 9.47].

Releele RD7 folosite la noi în țară au ca organe de pornire relee de impedanță. Acestea nu sînt reglabile în exploatare, ele avînd un reglaj fix stabilit de fabrica constructoare, care însă la nevoie poate fi modificat după cum se va vedea mai jos.

În fig. 1.6. este reprezentată schema de montaj a dispozitivului de pornire Q3 al protecției RD7, care conține cele trei organe de pornire (pentru cele trei faze).

Reglajul fix stabilit de fabrică pentru organele de pornire trebuie verificat din două puncte de vedere, pentru a se hotărî la nevoie modificarea sa. Reglajul stabilit trebuie să asigure pe de o parte transportul puterii maxime necesare pe linia protejată, chiar în condițiile de tensiune scăzută ce pot apărea în exploatare, iar pe de altă parte trebuie să aibă o sensibilitate corespunzătoare lungimii liniei și puterii surselor. Ca și la majoritatea protecțiilor de distanță, pentru a răspunde acestor cerințe evident contradictorii, organele de pornire ale releului RD7, deși relee de impedanță, nu acționează la o valoare constantă a impe-

danței controlate (la scăderea acesteia sub o valoare dată), ci la o valoare care depinde de curent. Diagrama de acționare $Z=f(I)$ a acestor organe de pornire este reprezentată în fig 1.7, *a*. iar diagrama de acționare a acelorași organe $U=f(I)$ în fig. 1.7 *b*,; cu ajutorul acestora se verifică ușor sensibilitatea și capacitatea de transport de putere. În diagrama din fig. 1.7, *b* au fost notate valorile reale ce corespund reglajului fix stabilit de fabrică. După cum se vede, în fig. 1.6 fiecare organ de pornire este alimentat în permanență cu tensiunea între faze și cu curentul pe fază. Pentru a a nu se produce pornirea protecției (deci deconectarea liniei) în condițiile transportului sarcinii maxime pe linie S_{max} și a tensiunii minime de exploatare U_{min} pe barele de la care se alimentează releul, trebuie verificat pe diagrama din

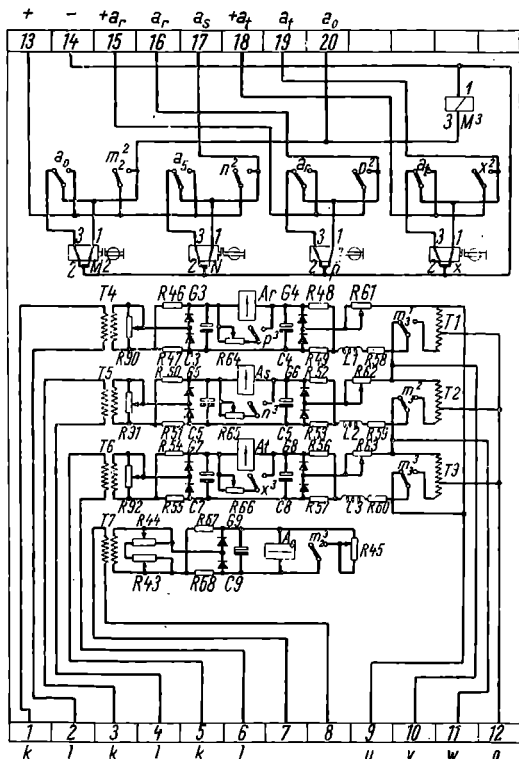


Fig. 1.6. Schema elementului de pornire Q3.

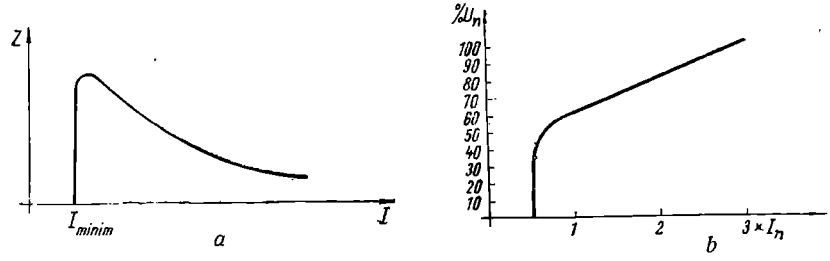


Fig. 1.7. Diagramele de acționare ale elementului de pornire:
a — diagrama $Z=f(I)$; *b* — diagrama $U=f(I)$.

fig. 1.7, *b* dacă ordonatei U_{min} îi corespunde un curent de acționare mai mare decît $I_{max}=\frac{S_{max}}{\sqrt{3}\,U_{min}}$. Considerîndu-se în această verificare și un coeficient de siguranță (de regulă 1,2), cum și un coeficient de revenire de aproximativ 0,8 (trebuie verificat dacă protecția nu acționează datorită sarcinii, chiar după o avarie la care ea a pornit) rezultă că va trebui ca abscisa I_a din diagrama de acționare corespunzătoare tensiunii U_{min} să satisfacă relația

$$I_a \geqslant \frac{k_{sig}}{k_{rev}} \frac{S_{max}}{\sqrt{3}\,U_{min}}.$$

Trebuie observat că în această expresie, ca și pe ordonata diagramei (unde valorile se dau în procente din cea nominală), tensiunea este între faze.

Sensibilitatea organelor de pornire se verifică pornindu-se de la curentul de scurtcircuit corespunzător defectului celui mai depărtat pe care trebuie să-l sesizeze protecția care trebuie calculat atît în regim maximal cît și în regim minimal. În ambele cazuri trebuie calculată și tensiunea remanentă pe barele pe care este instalată protecția, verificarea făcîndu-se tot cu ajutorul diagramei de acționare $U=f(I)$ (fig. 1.7, *b*).

Sensibilitatea protecției este suficientă dacă în ambele regimuri pe caracteristica $U=f(I)$ tensiunii remanente U_{rem} îi corespunde un curent de acționare I_a care satisface relația

$$I_a \leqslant \frac{I_{sc\cdot c}}{k_{sens}}.$$

În această formulă coeficientul de sensibilitate este diferit după cum verificarea se face în raport cu capătul liniei la care este instalată protecția ($k_{sens}=1{,}5\ldots 2$) sau cu capătul unei linii înseriate în aceasta ($k_{sens}=1{,}25\ldots 1{,}5$).

În cazul în care reglajul fixat de fabrică este corespunzător atît din punctul de vedere al capacității de transport cît și al sensibilității, releul poate fi folosit cu acest reglaj. Foarte adesea însă, în special la liniile lungi și foarte încărcate, aceste două cerințe contradictorii sînt greu de satisfăcut simultan. În asemenea cazuri, trebuie modificată caracteristica de acționare a organelor de pornire.

Modificarea caracteristicii de acționare în sensul dorit se poate face numai pe baza cunoașterii schemei organelor de pornire și a felului în care acestea realizează caracteristici de acționare de tipul celor din fig. 1.7.

În fig. 1.8 este reprezentată schema de principiu a unui organ de pornire, care rezultă ușor din schema de montaj din fig. 1.6. În această schemă, pentru rezistențe, transformatorul din circuitul de curent, bobina din circuitul de tensiune și releul polarizat care constituie releul de pornire propriu-zis s-au folosit alte notații decît în fig. 1.6, unde notațiile diferă de la o fază la alta. În schemă nu au mai fost reprezentate elementele care nu sînt necesare pentru înțelegerea funcționării.

Menționăm că un element principal al schemei, care determină alura caracteristicii prin care se realizează impedanțe de acționare mari la curenți mici (deci sensibilitate mare) și impedanțe de acționare mici la curenți mari (deci capacitate de transport mare), este bobina cu miez de fier saturabil și impedanță variabilă X_1 (corespunzătoare respectiv bobinelor L_1, L_2 și L_3 din schema reală a organelor de pornire).

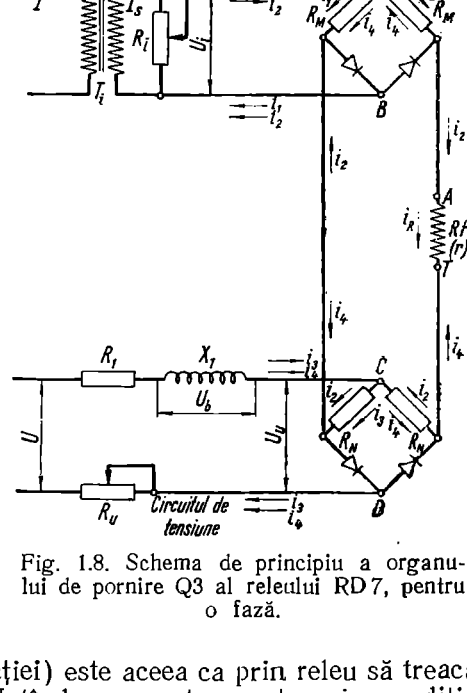


Fig. 1.8. Schema de principiu a organului de pornire Q3 al releului RD 7, pentru o fază.

Considerînd neglijabile frecările echipajului mobil al releului polarizat *RP*, condiția de acționare a acestuia (deci condiția de pornire a protecției) este aceea ca prin releu să treacă un curent în sensul *A-T*. Notîndu-se acest curent cu i_R, condiția este deci $i_R \geqslant 0$.

Valoarea curentului i_R este funcție de valorile tensiunii și a curentului cu care este alimentat elementul de pornire. Pentru a se găsi deci caracteristica de acționare a organului de pornire $z_{ac}=f(I)$ trebuie determinate relațiile care există între curentul și tensiunea cu care se alimentează organul de pornire (al căror raport este chiar impedanța măsurată de acesta) și curentul i_R.

Aceste relații se pot determina ușor prin aplicarea metodei suprapunerii efectelor, ținîndu-se seama de faptul că, datorită

particularităților schemei, I_s și U_u pot fi considerate ca surse independente ce depind doar de I, respectiv U (căderea de tensiune în R_1, X_1 și R_u nu depinde de curentul i_R datorită valorilor mici ale rezistențelor R_N).

Aplicîndu-se această metodă și folosindu-se notațiile

$$R_M+r+2R_N=R_a,\ R_N+r+2R_M=R\beta,$$

$$K_i=\frac{R_tR_M}{R_tR_M+R_tR_a+R_MR_a}\ \text{și}\ K_u=\frac{1}{R_\beta}$$

se obține foarte ușor expresia

$$i_R=K_iI_s-K_uU_u$$

deci implicit condiția de acționare a releului

$$K_iI_s-K_uU_u\geqslant 0,$$

care prin împărțire cu I_s și ordonare devine

$$\frac{U_u}{I_s}\leqslant\frac{K_i}{K_u}.$$

Notînd $\frac{K_i}{K_u}=K'$, condiția de acționare devine

$$\frac{U_u}{I_s}\geqslant K'\ \text{sau},\ U_u\geqslant K'I_s.$$

Folosindu-se curba tensiune-curent a bobinei cu fier saturabil X_1 și ținîndu-se seama de raportul de transformare n_i al transformatorului T_t, se stabilesc de asemenea ușor relațiile între U_u și U, respectiv între I_s și I și, pe baza acestora, condiția de acționare exprimată în funcție de U și I, adică de mărimile aplicate organului de pornire. Astfel, notînd

$$R_1+R_u=R_a,\ R_a+R_N=R\ \text{și}\ n_iK'=K$$

se obțin — corespunzînd celor două porțiuni (nesaturată și saturată) ale curbei $u_b=f(i_b)$ — următoarele expresii ale condiției de acționare:

— pentru valori ale tensiunii aplicate U mai mici decît cea la care se produce saturarea bobinei (U_{sat}), $U=\frac{K}{m_1}I$ sau (exprimată în funcție de Z) $Z=\frac{K}{m_1}$;

— pentru $U>U_{sat}$,

$$U=\frac{K}{m_2}I+\alpha,\ \text{sau}\ Z=\frac{K}{m_2}+\frac{\alpha}{I}.$$

În aceste expresii $m_1 = 1 - \frac{K_1 + R_a}{K_1 + R}$, $m_2 = 1 - \frac{K_2 + R_a}{K_2 + R}$, K, K_2 și α, sînt parametri care se determină grafic din curba $U_b = f(i_b)$ a bobinei X_1, curbă ce determină evident și valoarea U_{sa_t} la care se schimbă condiția de acționare. Determinarea grafică a parametrilor K_1, K_2 și α se face prin înlocuirea curbei $u_b = f(i_b)$ obținută experimental, prin două trepte ce se întretaie în punctul unde începe saturarea; pe prima porțiune — nesaturată — curba se înlocuiește prin dreapta $U_b = K_1 i_b$, iar pe a doua porțiune — saturată — prin dreapta $U_b = \alpha + K_2 i_b$.

Se observă deci din condiția de acționare, că diagrama căutată $Z = f(I)$ se compune din două părți: prima este o dreaptă orizontală, iar a doua este o hiperbolă ce tinde asimptotic nu spre axa absciselor ci spre o axă orizontală, de ordonată $\frac{K}{m_2}$.

Din condiția de acționare exprimată prin tensiune se obține valoarea I la care se produce modificarea caracteristicii.

Condiția $U = \frac{K}{m_1} I$ (căreia îi corespunde $Z = \frac{K}{m_1}$) este valabilă pînă la $U = U_{sa_t}$, pentru care $I = \frac{m_1}{K} U_{sa_t}$. Deci punctul de modificare a curbei de funcționare corespunde lui $I = \frac{m_1}{K} U_{sa_t}$ (fig. 1.9).

De fapt, după cum s-a mai menționat, datorită frecărilor releul nu acționează, chiar la tensiune nulă, decît dacă curentul depășește o anumită valoare I_o necesară învingerii acestora; datorită acestui fapt domeniul de existență a curbei începe în zona transformării ei în hiperbolă.

După cum s-a văzut diagrama de acționare $U = f(I)$ este cea folosită pentru verificarea sensibilității și a capacității de transport.

S-a văzut mai sus că pentru $I < \frac{m_1}{K} U_{sa_t}$ condiția de acționare este $U = \frac{K}{m_1} I$, iar pentru valori mai mari ale curentului, $U = \frac{K}{m_2} I + \alpha$.

Diagrama de acționare $U = f(I)$ este deci compusă din două drepte (fig. 1.10), forma ei fiind determinată de forma curbei de saturație a bobinei cu fier. În realitate, după cum se știe, releul pornește numai pentru valori ale lui I mai mari decît o anumită valoare I_o; de asemenea, curba de magnetizare prezintă o racordare largă la unirea celor două porțiuni. Ținînd seama de acestea diagrama reală de acționare $U = f(I)$ este cea din fig. 1.7, *b*.

Din analiza schemei de funcționare a organelor de pornire, a felului în care aceasta realizează diagrama de acționare din fig. 1.7, rezultă imediat posibilitățile de modificare a acestei caracteristici.

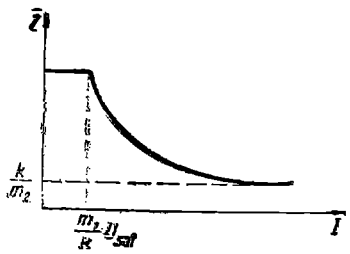


Fig. 1.9. Diagrama de pornire a protecției, $Z = f(I)$.

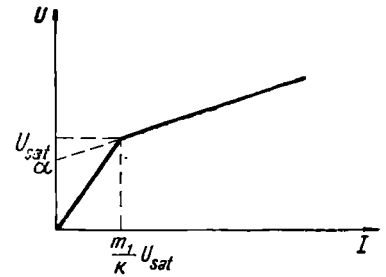


Fig. 1.10. Diagrama de acționare $U = f(I)$ a organelor de pornire.

După cum se vede din schema de principiu din fig. 1.8, elementele reglabile sînt R_i și R_u. Prin modificarea rezistenței R_i se obține modificarea coeficientului $K_i = \frac{R_i R_m}{R_i R_m + R_i R_a + R_m R_a}$ și deci a coeficientului $K = \frac{n_i K_i}{k_u}$.

Cum K_1 și K_2, care sînt determinați de curba de saturație a bobinei X_1, nu se modifică și deci nici m_1 și m_2, rezultă că în caracteristica $U = f(I)$ a organului de pornire (fig. 1.10) se produc următoarele modificări:

pe prima parte a curbei $\left(U = \frac{K}{m_1} I\right)$ se modifică coeficientul unghiular;

pe a doua parte a curbei $\left(U = \frac{K}{m_2} I + \alpha\right)$ se modifică de asemenea doar coeficientul unghiular, ordonata originei rămînînd aceeași;

— punctul de racordare a celor două porțiuni de dreaptă se deplasează, dar numai pe orizontală, căci ordonata U_{sat} nu se modifică, însă abscisa punctului de racordare $\left(\frac{m_1}{K} U_{sat}\right)$ se modifică.

În concluzie, prin varierea rezistenței R_i se poate obține pentru elementul de pornire Q_3 o familie de caracteristici de acționare (indicate în fig. 1.11) care au comune ordonata originei părții a doua a caracteristicii (α) și ordonata punctului de mo-

dificare a acesteia (U_s). Măsurările efectuate asupra unui releu Q_3 (pentru diverse poziții ale cursorului rezistenței R_i) confirmă concluzii care sînt evidente, cu toată racordarea largă a curbelor (fig. 1.12).

Fizic modificarea caracteristicii se explică prin faptul că prin varierea lui R_i variază partea din curentul total ce parcurge re-

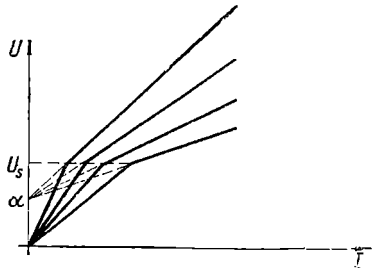


Fig. 1.11. Familia caracteristicilor de acționare care se pot obține prin varierea rezistenței R_i.

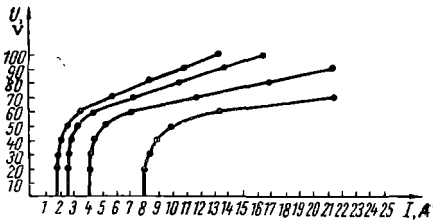


Fig. 1.12. Curbele de acționare obținute la un releu Q3, pentru diferite poziții ale cursorului rezistenței R_i.

leul, deci caracteristica de acționare (care este constantă în raport cu curentul ce trece prin releu) variază în raport cu curentul total. Tot în felul acesta se explică și modificarea curentului minim de acționare (la tensiune nulă).

În mod analog se poate stabili ușor că prin modificarea rezistenței R_u se obține o altă familie de caracteristici de acționare. Prin aceasta se modifică atît în prima cît și în a doua parte a caracteristicii, coeficientul unghiular, schimbîndu-se totodată și abscisa și ordonata punctului de intersecție a celor două porțiuni. Este important de observat că ordonata punctului de intersecție variază cu rezistența R_u (după cum s-a văzut prin modificarea rezistenței R_i aceasta rămînînd constantă). Ca și la familia de curbe obținute prin varierea rezistenței R_i, ordonata originii pentru partea a doua a caracteristicii rămîne constantă.

În concluzie, pentru modificarea caracteristicii de acționare a organelor de pornire ale protecției RD7, în scopul satisfacerii sensibilității și a capacității de transport necesare, există două posibilități care trebuie folosite separat sau simultan, în funcție de modificarea dorită:

— prin reglarea rezistenței R_i (în releu, R_{90} pentru faza R, R_{91} pentru faza S și R_{92} pentru faza T) se obține deplasarea caracteristicii și implicit modificarea curentului minim de pornire (fig. 1.11);

— prin reglarea rezistenței R_u (R_{61} pentru faza R, R_{62} pentru faza S și R_{63} pentru faza T) se obține modificarea caracteristicii (fig. 1.13).

Trebuie observat că a doua posibilitate duce la modificări mai puțin importante ale caracteristicii decît prima, dat fiind că rezistența R_u este înseriată cu alte rezistențe constante.

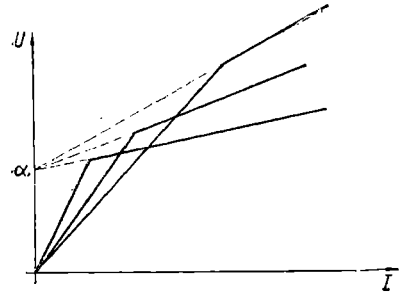


Fig. 1.13. Familia caracteristicilor de acționare care se pot obține prin varierea rezistenței R_u.

Rezistențele R_{90}, R_{91} și R_{92}, cum și R_{61}, R_{62} și R_{63} sînt reostate ușor accesibile, dispuse în partea inferioară a releului Q_3. Poziția cursoarelor lor (fixată de fabrică) poate fi ușor modificată, în care scop trebuie îndepărtată în prealabil vopseaua ce fixează această poziție. La nevoie, și numai prin încercări care să verifice că nu se înrăutățesc condițiile de funcționare ale releelor polarizate, aceste reostate pot fi chiar înlocuite cu altele care să ofere posibilitatea obținerii caracteristicii necesare.

Reglarea protecției RD7 constă în principal (în afara cazurilor cînd trebuie modificate și reglajele fixate de fabrică ale elementelor de pornire, după cum s-a arătat mai sus) în stabilirea treptelor de distanță și a treptelor de timp corespunzătoare acestora. Reglarea treptelor de timp, realizabilă cu ajutorul mutării în dreptul unei scale gradate a contactelor fixe, pe care le închide succesiv un contact mobil antrenat de un motoraș de curent continuu cu viteză constantă, constituie o operație simplă și nu vom insista asupra ei.

Diferitele trepte de distanță se realizează, după cum se știe, prin stabilirea unor rezistențe de valori corespunzătoare treptelor dorite, care se introduc succesiv în circuitul de tensiune al elementului de măsurat.

Parametrii circuitelor de tensiune și de curent (ale elementului de măsurat) sînt aleși astfel încît rezistențele reglabile prin care se realizează treptele de impedanță (Z_1, Z_2 și Z_3 din schemă) sînt etalonate direct în Ω/buclă. Deci cursoarele reostatelor corespunzătoare celor trei trepte trebuie fixate în dreptul valorilor de pe scalele respective, care sînt de două ori mai mari decît treptele de distanță alese.

În protecția de distanță RD7 se elimină influența perturbatoare a arcului electric asupra determinării distanței pînă la

locul defectului, prin introducerea în circuitul de tensiune a influenței curentului de defect (cu ajutorul transformatorului cu prize Tr_2) obținîndu-se în felul acesta, ca diagramă de acționare a elementului de măsurat, un cerc cu centrul deplasat din origine. Prizele transformatorului Tr_2 corespund unghiurilor uzuale ale liniilor electrice (60°, 70° și 80°). Trebuie folosită evident priza care corespunde unghiului celui mai apropiat de unghiul real al liniei.

Prin folosirea unei anumite prize a transformatorului Tr_2 (corespunzătoare unui anumit unghi al liniei) se obține drept diagramă de acționare un cerc astfel încît în cazul unui defect la capătul treptei reglate, cu sau fără arc electric (a cărui rezistență poate atinge chiar 60% din impedanța treptei), releul măsoară corect distanța și acționează în treapta respectivă.

În prospectul releului sînt indicate curbele de corecție care trebuie aplicate la stabilirea valorilor treptelor pe scalele reostatelor de reglaj (în raport cu valorile dorite, în Ω/buclă), pentru diferite unghiuri reale ale liniei cărora nu le corespund prize ale transformatorului Tr_2. Aplicîndu-se aceste corecții se obține pentru releu o diagramă de acționare care asigură măsurarea corectă a distanței și eliminarea influenței arcului (cu o rezervă de 60% la capătul treptei).

Parametrii circuitului de măsurare sînt astfel aleși încît reglarea releului (cu ajutorul reostatelor Z_1, Z_2 și Z_3 — etalonate direct în Ω/buclă) se poate efectua fără introducerea transformatorului Tr_2 în circuitul de tensiune al organului de măsurat (eclisa *3* pe poziția 0°), treptele păstrîndu-și valoarea reglată prin conectarea transformatorului Tr_2 pe priza corespunzătoare unghiului liniei protejate. Această posibilitate reprezintă un mare avantaj din punctul de vedere al realizării reglajelor și al verificării corectitudinii reglării. Într-adevăr, diagrama de acționare a organului de măsurat în planul Z este, în cazul în care transformatorul Tr_2 nu este introdus în circuitul de tensiune, un cerc cu centrul în originea axelor de coordonate R, X; în cazul în care transformatorul este introdus, diagrama este un cerc cu centrul deplasat; acționarea se produce în primul caz pentru orice impedanță măsurată mai mică decît cea reglată (pentru treapta respectivă), indiferent de unghiul ei, iar al doilea caz, evident la scăderea impedanței măsurate sub cea reglată dar numai dacă unghiul impedanței măsurate este egal cu cel stabilit prin prizele transformatorului Tr_2.

Reglarea precisă a treptelor de distanță cu ajutorul cursoarelor corespunzătoare Z_1, Z_2, Z_3, care trebuie efectuată întotdeauna

cu verificarea simultană a reglajului stabilit (etalonarea reostatelor nepăstrîndu-se în timp datorită modificării parametrilor circuitului), este deci posibilă cu eclisa *3* pe poziția 0° fără a fi necesar un anumit defazaj între tensiunea și curentul aplicate releului pentru verificare. Dacă reglarea și verificarea ar trebui efectuate cu eclisa *3* pe poziția corespunzătoare unghiului liniei protejate, verificarea corectitudinii reglajelor stabilite ar necesita alimentarea releului cu o tensiune și cu un curent defazate între ele cu un anumit unghi, cea ce în special în cazul stațiilor izolate ar provoca dificultăți.

Din punctul de vedere al gamei posibile de reglaj al treptelor de distanță, releele RD7 sînt de două tipuri: unele la care cu ajutorul reostatelor Z_1, Z_2, Z_3 se pot realiza trepte de distanță pînă la 3Ω secundari/fază (reglajul maxim posibil pe scală fiind de 6 Ω/buclă) și altele la care se pot realiza trepte de 6 Ω secundari/fază (scalele cu valoarea maximă de 12Ω/buclă).

Deși gama aceasta este destul de largă (în special la releele cu 6Ω secundari/fază) apare uneori — în special în cazul liniilor lungi sau dacă în cazul defectelor pe elementele învecinate există o supraalimentare mare — necesitatea de a se realiza trepte de distanță mai mari decît valoarea maximă posibilă, de 6Ω secundari/fază. Uneori acest dezavantaj poate fi corectat prin folosirea unor transformatoare de curent cu raport de transformare mic, ceea ce face ca la o aceeași impedanță secundară reglată a releului, impedanța primară corespunzătoare să fie mai mare.

In cazurile în care, datorită încărcării mari a liniei această metodă nu poate fi însă aplicată, trebuie recurs la modificarea caracteristicilor releului, pentru a se putea realiza trepte de distanță de mărimea necesară. Modificarea în acest scop a caracteristicilor releului trebuie efectuată astfel încît să se respecte o condiție esențială care constă în păstrarea efectului de compensare corectă a influenței perturbatoare a arcului electric asupra măsurării, efect care există la releul original. Cu alte cuvinte, modificarea trebuie realizată astfel încît (ca și la releul original) să se poată regla protecția pentru treptele dorite cu eclisa *3* pe poziția 0°; apoi prin simpla fixare a eclisei pe priza transformatorului Tr_2 corespunzătoare unghiului liniei protejate va trebui să se obțină deplasarea cercului caracteristic astfel încît în cazul unui defect la limita unei trepte de distanță, un arc avînd o rezistență pînă la 60% din valoarea treptei să nu determine acționarea protecției ca pentru un defect situat într-o altă treaptă de distanță.

Din analiza schemei organului de măsurat al protecției RD7 rezultă că există trei posibilități de modificare a caracteristicilor releului, cu respectarea condiției menționate mai sus, astfel încît să se obțină mărirea gamei de reglare a treptelor de distanță. Acestea sînt:

— mărirea rezistențelor R (respectiv R_o) de pe care se culege căderea de tensiune proporțională cu curentul de defect pentru circuitul de curent al organului de măsurat;

— mărirea rezistențelor reostatelor prin care se realizează reglajele, Z_1, Z_2, Z_3;

— reducerea printr-un transformator a tensiunii aplicate circuitului de tensiune al organului de măsurat.

Dintre aceste trei metode, a doua este cea mai puțin recomandabilă întrucît prin aplicarea ei, reostatele de reglaj nu mai permit o reglare liniară a impedanțelor treptelor; această modificare este datorită faptului că se schimbă raportul existent la releul original între rezistențele reostatelor și restul rezistențelor din circuit, raport care duce la posibilitatea de etalonare a acestor reostate direct în impedanța de acționare.

Prima și a treia metodă sînt de fapt echivalente și duc la păstrarea posibilității de reglare uniformă liniară, cu ajutorul reostatelor, scările acestora mărindu-se însă prin înmulțire, cu un coeficient egal cu raportul între noile rezistențe R (respectiv R_o) și cele originale în prima metodă și cu raportul de transformare al transformatorului intercalat în a treia metodă.

Dacă respectarea în aceste metode a condiției menționate (păstrarea compensării efectului perturbator al arcului electric) se poate stabili numai pe baza analizei prin calcul a schemei releului, efectul aplicării acestor metode pentru mărirea impedanței măsurabile, rezultă cu ușurință. Într-adevăr, în prima metodă se mărește influența curentului iar în a treia se micșorează influența tensiunii asupra organului de măsurat și ambele procedee duc la micșorarea artificială a impedanței de defect. Prima metodă este de fapt echivalentă cu micșorarea raportului transformatoarelor de curent fără însă a antrena limitarea capacității de transport a liniei.

În aplicarea fiecăreia dintre aceste metode trebuie însă respectate anumite condiții, pentru a se păstra siguranța de funcționare a protecției originale. Astfel, în cazul primei metode trebuie să se verifice că prin mărirea rezistențelor R și R_o nu se depășește sarcina admisibilă a transformatoarelor de curent ale liniei respective; în caz contrar trebuie luate măsuri de reducere a acestei sarcini (de exemplu prin mărirea numărului sau a secțiunii conductoarelor dintre transformatoarele de curent și releu).

În cazul metodei a treia, transformatorul de tensiune trebuie introdus în amonte de reostatele de reglaj, dar astfel încît să nu intervină decît după ce a pornit releul, pentru că altfel pornirea s-ar putea produce în condiții de suprasarcină, tocmai datorită reducerii suplimentare. El trebuie deci racordat între contactele bt_1^3 și m_1^1, în aval de acestea; astfel el va interveni numai după pornirea protecției și numai în funcționarea elementului de măsurat.

Celelalte elemente reglabile ale protecției RD7 (releul homopolar, releele de compensare a tensiunilor) nu ridică probleme deosebite și ca atare nu le vom trata.

1.3.3. Reglarea protecției tip D110 (D111)

Protecția de distanță tip D110, de fabricație cehoslovacă, și diferitele ei variante (D111 și ultima — cea mai modernă — D111-D) este din multe puncte de vedere asemănătoare cu protecția tip RD7. Ea conține organe distincte pentru pornire și alegerea mărimilor caracteristicilor defectului (în număr de 3) și pentru măsurarea distanței pînă la defect (organul unic de măsurat).

Funcțiile și alimentarea lor fiind diferite, problemele legate de reglare trebuie tratate în mod distinct pentru elementele de pornire și de măsurare.

În variantele D110 și D111, ca și la protecția RD7, organele de pornire au un reglaj fix stabilit de fabrică, dar care poate fi modificat cu ușurință la nevoie, după cum se va arăta. Varianta D111-D a acestei protecții are însă organele de pornire reglabile, releul fiind prevăzut și cu scale corespunzătoare.

După cum s-a arătat, pentru protecția RD7, la reglarea organelor de pornire (sau la verificarea reglajului fix stabilit de fabrică) trebuie să se pornească de la două criterii care trebuie satisfăcute simultan:

— asigurarea capacității de transport necesare;

— asigurarea unei sensibilități corespunzătoare în caz de defect.

Verificarea satisfacerii acestor condiții și alegerea reglajelor prezintă aici o serie de particularități, determinate de schema și diagrama de acționare ale organelor de pornire care după cum se va vedea sînt mai avantajoase decît la protecția RD7.

În fig. 1.14 este reprezentată schema unui element de pornire al protecției D110, în care s-au păstrat pentru transformator

și rezistențe denumirile din releul real. Folosindu-se ca și la analiza organelor de pornire ale protecției RD7 principiul suprapunerii efectelor și notîndu-se cu i_i și i_u curenții independenți din circuitele de curent și de tensiune ale organului de pornire, iar cu r_i și r_u rezistențele pe care le parcurg acești curenți prin punțile de redresare și înfășurarea releului ZM, rezultă ușor condiția de acționare a acestui releu (dacă se neglijează frecările):

$$|\bar{i}_u| \leqslant |\bar{i}_i|.$$

Curenții i_u și i_i se deduc ușor din schema din fig. 1.14 și astfel se pot stabili ușor condiția de acționare în funcție de curentul și tensiunea aplicate și diagrama de acționare în planul Z a organului de pornire. Considerînd, pentru simplificarea raționamentului (ceea ce însă nu restrînge valabilitatea acestuia), rapoartele de transformare ale transformatoarelor de tensiune și de curent egale cu unitatea, rezultă pentru cele două circuite ale elementului de pornire relațiile de mai jos.

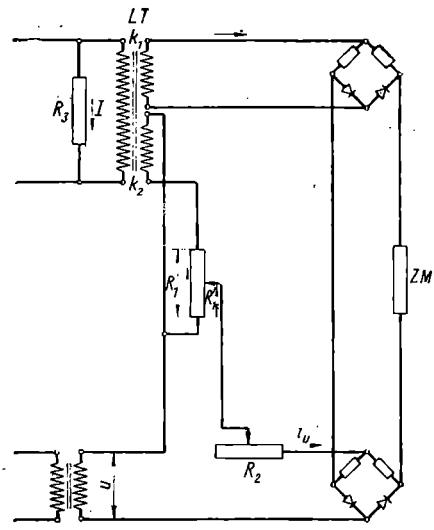


Fig. 1.14. Schema de principiu a elementului de pornire (pe o fază) al protecției D110 (D111).

Între tensiunea aplicată $\bar{U}$ și curentul din circuitul de tensiune $\bar{i}_u$ există relația

$$\bar{U} = \frac{\bar{k}_2 R_3 \bar{I}}{R_1} R_1' + (R_2 + r_u)\bar{i}_u,$$

în care k_2 este raportul de transformare al circuitului de tensiune al transformatorului LT;

R_1' — rezistența porțiunii din reostatul R_1 care se înseriază cu R_2.

Raportul de transformare k_2 este considerat vector datorită faptului că transformatorul LT are un întrefier mare, deci și căderea de tensiune în reactanță de scăpări este mare iar tensiunea secundară diferă de cea primară (care este $R_3 I$) atît ca valoare cît și ca fază. Notînd

$$\frac{\bar{k}_2 R_3}{R_1} = \bar{k},$$

relația de mai sus devine

$$\overline{U}=\overline{k}R_1\overline{I}+(R_2+r_u)\overline{i_u}$$

deci:

$$\overline{i_u}=\frac{\overline{U}}{R_2+r_u}-\frac{\overline{k}R_1'}{R_2+r_u}\overline{I},$$

respectiv

$$|\overline{i_u}|=\left|\frac{\overline{U}}{R_2+r_u}-\frac{\overline{k}R_1'}{R_2+r_u}\overline{I}\right|=\frac{\overline{I}}{R_2+r_u}\left|\frac{\overline{U}}{\overline{I}}-\overline{k}R_1'\right|.$$

Între curentul aplicat $\overline{I}$ și curentul $\overline{i_i}$ din circuitul de curent există relația

$$\overline{i_i}=\frac{R_2\overline{I}\overline{k}_1}{r_i}.$$

Notînd

$$\frac{R_2\overline{k}_1}{r_i}=\overline{k'},$$

această relație devine

$$\overline{i_i}=\overline{k'}\overline{I}, \text{ respectiv } |\overline{i_i}|=k'I.$$

Ținînd seama de toate aceste relații, condiția de acționare a elementului de pornire $|\overline{i_u}|\leqslant|\overline{i_i}|$ se poate scrie

$$\frac{\overline{I}}{R_2+r_u}\left|\frac{\overline{U}}{\overline{I}}-\overline{k}R_1'\right|\leqslant k'\overline{I}$$

respectiv

$$\frac{1}{R_2+r_u}\left|\frac{\overline{U}}{\overline{I}}-\overline{k}R_1'\right|\leqslant k'.$$

Raportul dintre tensiunea și curentul aplicate elementului de pornire, care dimensional este o impedanță, nu reprezintă totuși o impedanță reală pentru că fiecărui element nu i se aplică întotdeauna tensiunea și curentul de pe aceeași fază.

Notînd

$$\overline{Z}_r=\frac{\overline{U}}{\overline{I}},$$

condiția de acționare a organului de pornire, din care se poate stabili și diagrama sa în planul Z, devine în definitiv

$$|\overline{Z}_r-\overline{k}R_1^1|\leqslant k'(R_2+r_u).$$

După cum se observă ușor, acestei relații îi corespunde o diagramă de acționare în formă de cerc (fig. 1.15).

Din fig. 1.15 se observă că locul geometric al impedanței $\overline{Z}_r$ (nu $\overline{Z}_s$ sau $\overline{Z}_d$, ci $\overline{Z}_r$, determinat de mărimile aplicate releului) este un cerc avînd centrul deplasat din origine. Tot de aici rezultă și posibilitățile de modificare a caracteristicii de acționare a organelor de pornire. Se observă astfel că prin modificarea lui R'_1 (prin deplasarea cursorului reostatului R_1) se modifică poziția centrului cercului, iar prin deplasarea cursorului reostatului R_2 se modifică raza acestuia. După cum s-a menționat la releele D110 și D111, pozițiile acestor cursoare sînt stabilite de fabrică, dar la nevoie se pot modifica, iar la releul D111-D aceste cursoare sînt prevăzute de la început reglabile în dreptul unei scale corespunzătoare.

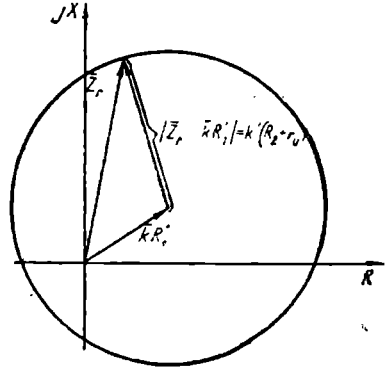


Fig. 1.15. Stabilirea diagramei teoretice de acționare a organelor de pornire ale protecției D110 (D111).

Reglajul fix al releelor D110 și D111 este stabilit de fabrică de regulă astfel, încît cercul caracteristic are centrul pe o dreaptă ce face un unghi de 60° cu axa R, iar distanța dintre origine și punctul de intersecție al cercului cu această dreaptă este egală în cadranul *1* cu $\frac{U_n}{2I_n}$, iar în cadranul *3* cu o treime din $\frac{U_n}{2I_n}$. În fig. 1.16 este reprezentată diagrama de acționare a elementelor de pornire ale releelor D110 și D111 cu parametrii fixați prin reglajul stabilit de fabrică.

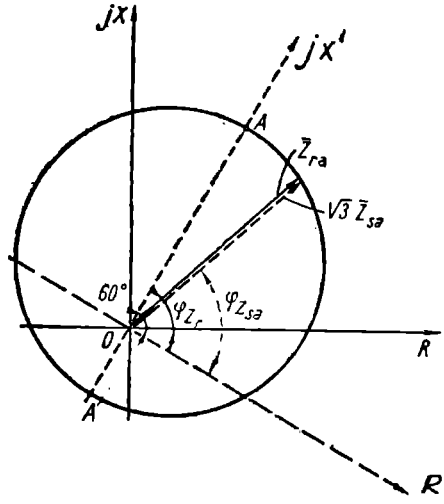


Fig. 1.16. Parametrii diagramei de acționare a organelor de pornire ale releelor D110 și D111.

Releele D110 și D111 se execută pentru curentul nominal de 5 sau 1 A.

Deci la releele de 5 A pe diagrama elementelor de pornire este astfel încît $\overline{OA} = 10\ \Omega$ iar $\overline{OA'} = 3{,}3\ \Omega$, iar la releele

de 1 A aceste valori sînt de cinci ori mai mari. Releele de 5 A au adesea diagrama reală realizată astfel încît $\overline{OA}=11\ \Omega$ și $\overline{OA'}=3{,}2\ \Omega$, iar releele de 1 A au respectiv $\overline{OA}=55\ \Omega$ și $\overline{OA'}=16\ \Omega$.

Parametrii diagramei de acționare ai elementelor de pornire ale releelor D111-D, care după cum s-a menționat sînt reglabili, vor fi indicați mai jos.

În verificarea care trebuie efectuată pentru a se stabili dacă reglajele fixe ale elementelor de pornire ale releelor D110 sau D111 sînt corespunzătoare din punctul de vedere al capacității de transport și al sensibilității (sau în stabilirea acestor reglaje la releele D111-D), trebuie să se țină seama de modul diferit în care aceste elemente reacționează la suprasarcini și la defecte, ceea ce constituie de altfel un avantaj esențial al lor.

Pentru a se determina această comportare diferită trebuie stabilită relația dintre diagrama de acționare a elementelor de pornire și mărimile electrice reale ($\overline{U}$ și $\overline{I}$) în caz de sarcină și în caz de defect, respectiv între impedența Z_r la care se referă diagrama de acționare reprezentată în fig. 1.16 și impedanța reală — de sarcină sau de defect.

Elementelor de pornire li se aplică, cît timp nu există curent homopolar, următoarele mărimi:

elementului ZM_x — curentul $\overline{I}_R$ și tensiunea $\overline{U}_{RT}$;
elementului ZM_y — curentul $\overline{I}_S$ și tensiunea $\overline{U}_{SR}$;
elementului ZM_z — curentul $\overline{I}_T$ și tensiunea $\overline{U}_{TS}$.

La apariția curentului homopolar, acelorași elemente li se aplică următoarele mărimi:

elementului ZM_x — curentul $\overline{I}_R$ și tensiunea $\overline{U}_{RO}$ multiplicată cu 1,5;

elementului ZM_y — curentul $\overline{I}_S$ și tensiunea $\overline{U}_{SO}$ multiplicată cu 1,5;

elementului ZM_z— curentul $\overline{I}_T$ și tensiunea $\overline{U}_{TO}$ multiplicată cu 1,5.

Deci din punctul de vedere al mărimilor cu care sînt alimentate elementele de pornire și al sensibilității acestora există trei cazuri distincte:

— suprasarcină sau scurtcircuit trifazat;
— scurtcircuit bifazat;
— scurtcircuit monofazat.

Aceste trei cazuri trebuie analizate separat pentru a se determina comportarea organelor de pornire la suprasarcini și la defecte.

În cazul suprasarcinilor simetrice, fiecare element de pornire primește deci curentul pe fază și tensiunea între faze defazată cu

30° înapoi față de tensiunea fazei respective. Între curentul și tensiunea fazei respective există în cazul sarcinii simetrice relația

$$\overline{U}_f = \overline{I}_f \overline{Z}_s,$$

în care Z_s este impedanța pe fază a sarcinei.

Între tensiunea aplicată releului $\overline{U}_r$ și tensiunea $\overline{U}_f$ există relația

$$U_r = \sqrt{3}\overline{U}_f \, e^{-j30°}.$$

Deci

$$\overline{U}_r = \sqrt{3}\overline{I}_r \overline{Z}_s \, e^{-j30°}.$$

Dar $\frac{\overline{U}_r}{\overline{I}_r} = \overline{Z}_r$, căruia îi corespunde diagrama de acționare din fig. 1-16. Între $\overline{Z}_r$ și $\overline{Z}_s$ există deci relația

$$\overline{Z}_r = \sqrt{3}\overline{Z}_s \, e^{-j30°}$$

sau

$$\sqrt{3}\overline{Z}_s = \overline{Z}_r e^{+j30°}$$

Deci cunoscîndu-se din datele releului diagrama de acționare a elementelor de pornire, care este de fapt locul geometric al impedanței $\overline{Z}_r$ pentru care acestea acționează, — $\overline{Z}_{ra}$ (fig. 1.16), locul geometric al vectorului $\sqrt{3}\overline{Z}_s$ (din care evident se poate deduce ușor $\overline{Z}_s$) pentru care se produce acționarea — deci al lui $\sqrt{3}\overline{Z}_{sa}$ se deduce din cel al vectorului $\overline{Z}_{ra}$ prin rotirea sa cu 30° în sensul trigonometric, sau — ceea ce este evident același lucru — prin rotirea axelor de coordonate cu 30° în sens invers trigonometric.

Orice punct de pe cercul din fig. 1.16 reprezintă vîrful unui vector avînd originea în originea axelor de coordonate și unghiul determinat de axele R' și X'; acest vector are valoarea $\sqrt{3}\overline{Z}_{sa}$ sau evident $\sqrt{3}\overline{Z}_{da}^{(3)}$ unde $\overline{Z}_{da}^{(3)}$ este impedanța de acționare pe faza la un scurtcircuit trifazat.

Astfel, de exemplu, conform datelor menționate mai sus, la releele D110 și D111 vectorul $\overline{OA} = \frac{U_n}{2I_n}$ și face cu axa R un unghi de 60°. Deci punctul A corespunde unui vector $\sqrt{3}\overline{Z}_{sa} = \frac{U_n}{2I_n}$. Deoarece $\frac{U_n}{2I_n} = \frac{\sqrt{3}Z_{sn}}{2}$ rezultă relația

$$Z_{sa} = \frac{Z_{sn}}{2}.$$

Această relație este însă valabilă numai în modul. Intr-adevăr, vectorul $\sqrt{3}Z_{s\cdot a}$ corespunzător punctul A face un unghi de 90° cu axa R' și deci numai la un unghi al sarcinii de 90° impedanța la care se produce acționarea este jumătate din cea care corespunde sarcinii nominale. Se vede ușor din fig. 1.16 că pentru un alt unghi mai mic decît 90° (care trebuie determinat față de R') impedanța de sarcină la care se produce acționarea este mai mică. Acesta este de fapt și principalul avantaj al organelor de pornire ale releului D110 și care constă în faptul că ele posedă o sensibilitate mai mare la defecte, (unghiul impedanței fiind mare), decît la suprasarcini.

Din cele expuse rezultă în concluzie felul în care trebuie efectuată verificarea capacității de transport a liniei pe care se instalează protecția D110, din care să rezulte dacă este sau nu necesară modificarea reglajelor fixe ale organelor de pornire.

Cunoscîndu-se unghiul maxim de sarcină pe linia dată, din diagrama de acționare a elementelor de pornire (fig. 1.16) se determină valoarea vectorului $\sqrt{3}Z_{s\cdot a}$ care face acest unghi cu axa R'. Considerîndu-se, ca și în cazul protecției RD7, un coeficient de siguranță de 1,2 și un coeficient de revenire de 0,8, rezultă că impedanța de sarcină admisibilă este de 1,5 ori mai mică decît cea determinată din diagrama de acționare. Deci

$$Z_{s\ ad} = \frac{Z_{s\ a}}{1{,}5}.$$

Cunoscîndu-se tensiunea minimă de exploatare U_{min} din stația în care este instalat releul, se determină puterea care se poate transporta pe linie cu formula

$$S_{ad} \leqslant \frac{U^2_{min}}{Z_{s\ ad}}.$$

Se observă că la protecțiile D110, spre deosebire de protecțiile maximale obișnuite sau de protecția de distanță RD7, coeficientul de revenire nu se aplică parametrului pentru care s-a produs pornirea în caz de defect, ci altuia corespunzător sarcinii. Intr-adevăr, pornirea la defect a protecției corespunde în diagrama din fig. 1.16 unei impedanțe $\overline{Z}_{r\cdot a}$ mai mari, determinată de unghiul de defect, iar revenirea trebuie cercetată în raport cu o impedanță $\overline{Z}_{r\cdot a}$ mai mică determinată de unghiul de sarcină in raport cu axa R'. Rezultă deci din nou evident avantajul protecției D110 din punctul de vedere al comportării la defecte și suprasarcini.

În cazul scurtcircuitului bifazat, cel puțin unul dintre organele de pornire primește tensiunea și curentul de defect. Notînd impedanța de defect pe fază la scurtcircuit bifazat cu $\overline{Z}_d^{(2)}$, în acest caz există relația $\overline{Z}_r = 2\overline{Z}_d^{(2)}$ respectiv $\overline{Z}_{aa}^{(2)} = \frac{\overline{Z}_r}{2}$.

Deci locul geometric al impedanței $\overline{Z}_{da}^{(2)}$ — respectiv diagrama de acționare la defecte bifazate — se obține din diagrama de acționare care determină pe $\overline{Z}_{r\cdot a}$ (fig. 1.16) în coordonatele R și X, valoarea fiecărei impedanțe de acționare fiind

$$\overline{Z}_{d\,a}^{(2)} = \frac{\overline{Z}_{ra}}{2}.$$

Astfel, de exemplu, pentru un unghi de scurtcircuit de 60°

$$Z_{da}^{(2)} = \frac{U_n}{4\,I_n} = \frac{\sqrt{3}\,Z_{sn}}{4}.$$

În cazul scurtcircuitului monofazat, elementul de pornire de pe faza defectă primește curentul de defect și tensiunea de pe faza defectă mărită de 1,5 ori. După cum se știe, această mărire artificială a tensiunii (ca și la alte tipuri de protecții) are drept scop evitarea deconectării fazelor sănătoase în cazul unui defect monofazat pe liniile la care se folosește declanșarea monofazată. Deci în cazul unui astfel de defect

$$\overline{Z}_r = 1{,}5\,\frac{\overline{U}_f}{\overline{I}^{(1)}},$$

unde $I^{(1)}$ este curentul fazei defecte.

La stabilirea relației dintre $\overline{Z}_r$ și impedanța de defect $\overline{Z}_d^{(1)}$ trebuie să se țină seama de raportul pentru linia dată între reactanțele homopolară și directă.

La liniile construite pînă în prezent la noi în țară — cu conductoare de protecție din oțel — acest raport este după cum se știe $\frac{x_0}{x_d} = 3{,}5$. Ținînd seama de acest raport, relația dintre $\overline{Z}_d^{(1)}$ și $\overline{Z}_r$ se stabilește știind că la un defect monofazat

$$\overline{U}_f = \overline{I}_o(\overline{Z}_o + \overline{Z}_1 + \overline{Z}_2) = \frac{\overline{I}_1}{3} 5{,}5\ \overline{Z}_d.$$

Deci

$$\overline{Z}_r = 1{,}5\frac{U_f}{I^{(1)}} = 1{,}5\,\frac{5{,}5}{3}\overline{Z}_d = 2{,}75\overline{Z}_d.$$

$$\overline{Z}_d^{(1)} = \frac{\overline{Z}_r}{2{,}75}.$$

În concluzie, pentru a se determina locul geometric al impedanței $\overline{Z}_{da}^{(1)}$ — respectiv diagrama de acționare la defecte monofazate — se folosește diagrama de acționare care determină pe $\overline{Z}_{ra}$ (fig. 1.16) în coordonatele R și X, valoarea fiecărei impedanțe de acționare $\overline{Z}_{da}^{(1)}$ deducîndu-se din vectorul corespunzător Z_{ra} prin împărțire cu 2,75, iar unghiul acesteia fiind același cu al vectorului Z_{ra} considerat. Deci

$$Z_{da}^{(1)} = \frac{\overline{Z}_{ra}}{2{,}75}.$$

Se observă deci că organele de pornire sînt mai puțin sensibile la defectele monofazate decît la cele bifazate. S-a văzut de asemenea că și în cazul defectelor trifazate sensibilitatea este diferită de cea din cazul defectelor bifazate. De acestea trebuie să se țină seama în aprecierea reglajelor organelor de pornire.

Și în cazul protecției RD7 sensibilitatea organelor de pornire diferă după natura defectului, datorită alimentării diferite a organelor de pornire. Problema este însă mai simplă deoarece diagrama de acționare este în toate cazurile un cerc cu centrul în origine și unghiul defectului sau al sarcinii nu are nici o importanță; datorită acestui fapt determinarea comportării organelor de pornire ale protecției RD7 la suprasarcini și la defecte se face mai ușor (§ 1.3.2).

După cum s-a menționat, în cazul în care reglajul fix (stabilit de fabrică) al organelor de pornire nu este corespunzător fie din punctul de vedere al capacității de transport realizate fie din cel al sensibilității la defecte, prin modificarea pozițiilor cursoarelor reostatelor R_1 și R_2, se pot obține alte cercuri (diagrame de acționare) decît cele care corespund parametrilor indicați mai sus ai releelor D110 și D111 (în variantele de 5 A și 1 A). În mod special se pot obține rezultate bune în cazul liniilor lungi și prin care se transportă puteri mari prin deplasarea cercului cu ajutorul reostatului R_1. La releele D111-D, după cum s-a arătat, raza cercului care reprezintă caracteristica de acționare și deplasarea centrului său pe dreapta care face un unghi de 60° cu axa R sînt reglabile.

Scalele releului pentru deplasarea e a centrului cercului și pentru raza acestuia r sînt etalonate în Ω/fază și se referă la impedanțele de acționare (cu reglajele respective) în cazul defectelor bifazate. Deci, conform analizei efectuate asupra comportării elementelor de pornire în cazul scurtcircuitelor bifazate,

suma indicațiilor scalelor pentru deplasarea e și raza r în Ω/fază este egală cu jumătate din impedanța de acționare a releului $Z_{r.a}$ (definită anterior), corespunzătoare unui unghi de 60° față de axa R (suma indicațiilor scalelor este egală cu $\frac{OA}{2}$).

În fig. 1.17 sînt reprezentate diagramele de acționare ale elementelor de pornire ale releului D111-D corespunzătoare limitelor de reglaj, care sînt: pentru deplasarea cercului $e = 0 \ldots 11$ Ω/fază și pentru raza cercului $r = 17 \ldots 35$ Ω/fază. În diagrama de acționare vectorul $\overline{OA}$ care este $\overline{Z}_{r.a}$ la $\varphi_r = 60°$ poate varia deci între 34 și 92 Ω.

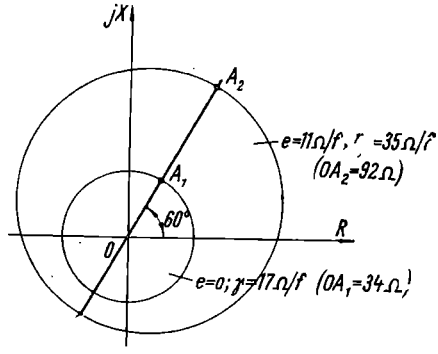


Fig. 1.17. Diagramele de acționare ale organelor de pornire ale protecției D 111-D, corespunzătoare reglajelor minime și maxime pentru e și r.

De obicei, cînd condițiile locale nu impun un alt reglaj, pentru a avea o rezervă suficientă și în cazul defectelor pe barele la care este racordată linia protejată (deci ale „defectelor în spate") și conform recomandării fabricii constructoare, valorile lui e și r se aleg astfel încît să fie satisfăcută condiția $\varepsilon = \frac{e}{r} \leqslant 0{,}6$. Ca și la protecția RD7, operația principală de reglare (la care exigențele în ce privește precizia sînt mai mari) constă în stabilirea treptelor de impedanță, care și aici sînt în număr de trei.

Dispozitivele pentru reglarea treptelor de distanță ale releelor D110, D111 și D111-D nu au scalele etalonate direct în Ω și reglarea este mai complicată.

Pentru determinarea relației dintre valorile care se reglează pe scalele elementelor de reglaj și impedanțele treptelor care le corespund este necesară cunoașterea mai îndeaproape a schemei elementului de măsurat al protecției și a funcționării acestuia. De altfel aceasta este necesară și pentru a se putea realiza eventualele remedieri sau modificări necesare. Ținînd seama de aceste considerente, în cele ce urmează se prezintă modul de reglare a treptelor de distanță pornindu-se de la analiza schemei organului de măsurat.

În fig. 1.18 este reprezentată schema alimentării organului de măsurat în cazul unui scurtcircuit bifazat (notațiile diverselor elemente corespund celor reale; cele încadrate reprezintă parametrii reglabili).

Treptele de impedanță se stabilesc prin alegerea, cu ajutorul unei formule indicate mai jos, a prizelor V ale transformatorului V și a prizelor ε ale celui de al doilea secundar al transformatorului P. Acest secundar (ca și transformatorul Tr_2 al releului RD7) are rolul de a provoca deplasarea cercului care reprezintă diagrama de acționare a organului de măsurat, de-a lungul axei R, pentru a se elimina astfel influența perturbatoare a arcului electric asupra măsurării impedanței de defect.

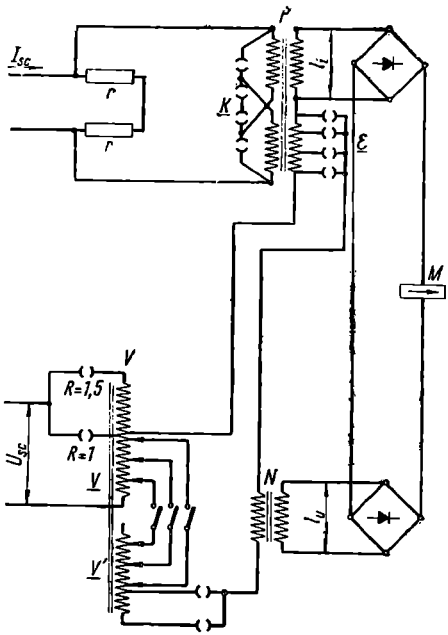


Fig. 1.18. Schema alimentării organului de măsurat al protecției D 110 (D111), în cazul unui scurtcircuit bifazat.

După cum se vede din schema din fig. 1.18, asupra releului propriu-zis M al organului de măsurat debitează înseriate dar în opoziție, două tensiuni electromotoare — una produsă de curentul de scurtcircuit iar cealaltă de tensiunea de scurtcircuit (care conține sau nu influența curentului de scurtcircuit). Acționarea releului M se produce (dacă se neglijează efectul frecărilor) cînd t.e.m. determinată de curentul de scurtcircuit e_i este mai mare decît cea provenită din circuitul de tensiune e_u. Pentru stabilirea formulelor cu ajutorul cărora se realizează la releu reglajele corespunzătoare treptelor de distanță dorite, considerăm ca și în cazul organelor de pornire rapoartele transformatoarelor de măsură egale cu unitatea și adoptăm următoarele notații:

w_i — raportul de transformare al transformatorului P, în raport cu secundarul care alimentează puntea de redresare a circuitului de curent;

n — raportul de transformare al aceluiași transformator în raport cu secundarul care se conectează în circuitul de tensiune;

w_u — raportul de transformare al transformatorului N, din circuitul de tensiune;

r — rezistențele de pe care se culeg căderi de tensiune proporționale cu curentul de defect;

V^* — raportul de transformare al transformatorului cu prize V, determinat de prizele folosite și de valoarea parametrului R:

$$V^* = \frac{U_2}{U_1} = \frac{n_{2_1}}{n_1^1},$$

unde n_2 este numărul de spire secundare culese prin prize; n_1^1 — numărul de spire primare, care este reglabil în două trepte corespunzătoare celor două prize primare $R=1$ și $R=1{,}5$;

n_1 fiind numărul de spire corespunzătoare prizei $R=1$

$n_1^1 = Rn_1$; deci $V^* = \frac{n_2}{Rn_1}$.

Raportul de transformare $\frac{n_2}{n_1}$, corespunde însă etalonării V a prizelor secundare.

Deci relația dintre raportul de transformare real V^* care determină fracțiunea din tensiune care se aplică elementului de măsurat și parametrul reglabil V este

$$V^* = \frac{V}{R}$$

unde R poate avea două valori (notate pe releu în dreptul prizelor respective), $R=1$ și $R=1{,}5$.

Formulele cu ajutorul cărora se realizează reglarea treptelor de distanță sînt diferite după cum secundarul transformatorului P este sau nu conectat în circuitul de tensiune, respectiv după cum cercul de acționare are centrul în originea axelor sau este deplasat. Se disting deci două feluri în care se realizează reglarea, care vor fi analizate în cele ce urmează.

Reglarea treptelor de distanță în cazul neglijării influenței perturbatoare a arcului electric (obținerea unui cerc cu centrul în origine). Condiția de acționare a releului M este, după cum s-a menționat mai sus $e_i \geqslant e_u$.

In cazul analizat

$$e_i = k_1|\bar{I}| \text{ și } e_u = k_2|\bar{U}|;$$

condiția de acționare devine

$$k_1 I \geqslant k_2 U,$$

în care

$$k_1 = 2r w_i;$$

$$k_2 = \frac{V}{R} w_u \cdot$$

Condiția de acționare $k_1 I \geqslant k_2 U$ se mai poate scrie și sub forma $\frac{U}{I} \leqslant \frac{k_1}{k^2}$.

Deoarece în cazul scurtcircuitului bifazat care corespunde schemei din fig. 1.18 (datorită schemei de comutări a releului la acționare, concluzia este valabilă și pentru alte defecte) $\frac{U}{I} = 2Z$, unde Z este impedanța de defect pe fază, acționarea se produce la $2Z \leqslant \frac{k_1}{k_2}$ sau $Z \leqslant \frac{k_1}{2k_2}$.

Inlocuindu-se k_1 și k_2 prin valorile lor, se obține condiția de acționare

$$Z \leqslant \frac{Rr \frac{w_I}{w_u}}{V} \cdot$$

Se notează $r \frac{w_I}{w_u} = k$ (după cum se vede din fig. 1.18, w_i este reglabil în două trepte prin legarea celor două secțiuni primare ale transformatorului P în serie sau în paralel, una dintre valori fiind jumătatea celeilalte). Deci k este un parametru cu două valori posibile, între care există raportul 2. Cu aceste notații condiția de acționare devine $Z \leqslant \frac{Rk}{V}$.

Pentru ca Z să aibă o anumită valoare Z_{reg} (corespunzătoare treptei de distanță respective), cei trei parametri din formula de mai sus trebuie stabiliți în consecință. Dintre acești trei parametri R și k nu au decît cîte două valori posibile (fixe), iar V este cel care se poate regla pentru a se obține impedanța de acționare dorită. Formula de reglare a releului este deci

$$V = \frac{Rk}{Z_{reg}} \cdot$$

Scalele prizelor corespunzătoare celor trei trepte, pentru stabilirea valorilor V necesare, nu sînt etalonate direct în aceste valori ci în valori de 100 ori mai mari, deci valorile V indicate

pe scală nu reprezintă raportul de transformare $\frac{n_2}{n_1}$ al transformatorului direct, ci exprimat în procente.

Ținînd seama de aceasta, formula care dă valoarea de pe scala prizelor transformatorului V care trebuie aleasă pentru un Z_{reg} dorit este

$$V = \frac{Rk}{Z_{reg}} 100[\%] \cdot$$

Gama scalelor pentru reglarea valorii V este de 1—100%, putîndu-se stabili orice număr întreg (există cursoare separate pentru zeci și unități). Releul are trei asemenea scale pentru cele trei trepte de impedanță.

Trebuie menționat că parametrii V, R și k ai formulei de mai sus, pentru reglarea releului, au, spre deosebire de celelalte notații folosite pentru stabilirea formulei, chiar denumirile folosite în releu. De asemenea, parametrul k din această formulă are o semnificație fizică precisă, fiind de fapt valoarea impedanței minime reglabile a releului (ca treaptă de distanță).

Într-adevăr, după cum s-a văzut, V este în general un număr mai mic decît 100 (tensiunea aplicată releului se reduce succesiv prin releul de timp, pentru a se trece dintr-o treaptă într-alta și a se sesiza impedanțe mai mari; valoarea maximă a lui V, pentru care impedanța de acționare este minimă, este 100, în care caz tensiunea nu se reduce deloc). Totodată, pentru a se obține impedanța minimă care se poate regla, R trebuie să aibă valoarea 1 și nu 1,5, căci altfel s-ar produce totuși o scădere a tensiunii aplicate elementului de măsurat, deci o micșorare artificială a impedanței de defect.

Se observă că, în cazul în care se stabilesc pentru V valoarea 100 și pentru R valoarea 1, adică releul este pus în condițiile în care impedanța la care acționează este cea minimă (căci prin reglarea unui parametru nu se mai poate mări tensiunea aplicată elementului de măsurat în caz de defect și prin aceasta să se micșoreze impedanța reală la care ar începe să acționeze releul) există relația

$$100 = \frac{1\ k}{Z_{reg \cdot min}} 100, \text{ deci } Z_{reg \cdot min} = k.$$

Rezultă deci că impedanța minimă reglabilă pe fază este chiar k. După cum s-a arătat mai sus, acest k are două valori posibile cărora le corespund deci două valori posibile ale lui $Z_{reg \cdot min}$. Aceste două valori corespund de fapt celor două valori posibile ale lui ω_i, care după cum s-a văzut se pot modifica de

la simplu la dublu. In consecință, k, respectiv impedanța minimă reglabilă a releului, se poate modifica de la simplu la dublu.

La releele tip D110 și D111, cele două valori posibile ale lui k (ale impedanței minime reglabile) pentru releele cu $I_n=5$ A sînt de 0,4 și 0,2 Ω/fază, prima valoare corespunzînd intervalului denumit de fabrică „normal", pentru releele cu $I_n=1$ A, aceste valori sînt de cinci ori mai mari, respectiv 2 și 1 Ω/fază.

Există unele relee tip D111 construite special pentru linii foarte scurte, la care valorile prevăzute pentru k sînt de două ori mai mici decît cele menționate.

La releele tip D111-D construite special pentru linii foarte lungi, cele două valori posibile ale impedanței minime reglabile k sînt de 8 și 4 Ω/fază.

Reglarea treptelor de distanță în cazul folosirii secundarului transformatorului P pentru eliminarea influenței arcului electric, prin deplasarea cercului caracteristic. Relațiile care există între parametrii cercului deplasat (pentru ca protecția să determine corect distanța pînă la defect, indiferent dacă există sau nu arc electric) prezintă o serie de particularități importante pentru felul în care trebuie realizați prin reglaj acești parametri la protecțiile D110 sau D111.

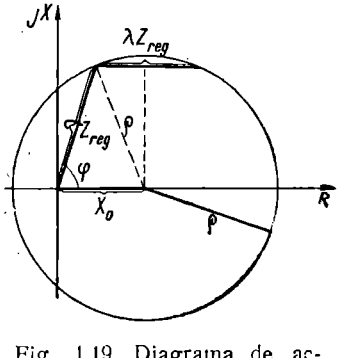


Fig. 1.19. Diagrama de acționare a organului de măsurat, necesară pentru eliminarea influenței arcului electric asupra măsurării distanței.

Diagrama de acționare necesară în acest caz este cea din fig. 1.19, unde: Z_{reg} este impedanța dorită a treptei respective; λZ_{reg} — valoarea rezistenței arcului pentru care organul de măsurat trebuie să acționeze ca și pentru un defect la capătul impedanței Z_{reg}; φ — unghiul liniei; X_0 și ρ — deplasarea centrului cercului și raza acestuia, care sînt funcție de condițiile date, condiții reprezentate tocmai de mărimile Z_{reg}, λ și φ.

Într-adevăr, după cum se vede ușor din fig 1.19 parametrii cercului se deduc din aceste trei valori astfel:

$$X_0=Z_{reg}\cos\varphi+\frac{\lambda Z_{reg}}{2}$$

$$\rho^2=\frac{\lambda^2 Z_{reg}^2}{2}+Z_{reg}^2\sin^2\varphi.$$

Deci o dată cu Z_{reg} variază nu numai ρ ci și X_0. Între X_0 și ρ există însă o legătură care este independentă de Z_{reg} și depinde numai de φ și λ. (Această relație este importantă pentru că, după cum se va vedea mai jos, este folosită în realizarea schemei organului de măsurat și a modului de reglare).

Raportul $\frac{X_0}{\rho}$ este independent de valoarea impedanței Z_{reg} și este constant pentru φ și λ constanți (deci pentru o linie dată).

Într-adevăr din relațiile de mai sus rezultă

$$X_0 = Z_{reg}\frac{2\cos\varphi + \lambda}{2}; \qquad \rho = Z_{reg}\frac{\sqrt{\lambda^2 + 4\sin^2\varphi}}{2};$$

$$\frac{X_0}{\rho} = \frac{\lambda + 2\cos\varphi}{\sqrt{\lambda^2 + 4\sin^2\varphi}}.$$

Din ultima relație se observă că, dacă la o linie dată, cu un anumit unghi φ, se alege raportul $\frac{X_0}{\rho}$, rezultă λ și apoi rezultă X_0 și ρ în funcție de Z_{reg}.

Din practica exploatării și din măsurările efectuate asupra arcului electric de defect s-a ajuns la concluzia, folosită și la alte tipuri de protecții, că λ trebuie să aibă valoarea 0,5—0,6. Deci se poate stabili, pentru diverse unghiuri φ, raportul $\frac{X_0}{\rho}$ pentru ca λ să rezulte între 0,5 și 0,6.

Parametrii cercului deplasat, pentru o linie dată și o impedanță de treaptă dorită Z_{reg}, se pot alege în felul următor: în funcție de unghiul φ al liniei se alege un raport $\frac{X_0}{\rho}$, astfel încît să se obțină pentru λ o valoare între 0,5 și 0,6, și apoi se determină X_0 și ρ.

În particular pentru φ dat și $\frac{X_0}{\rho}$ (respectiv λ) ales, formula este

$$\rho = Z_{reg}\sqrt{\frac{\lambda^2}{4} + \sin^2\varphi}.$$

Pentru $Z_{reg} = 1$, rezultă

$$\rho_1 = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4} + \sin^2\varphi}.$$

Se observă deci că ρ_1 (raza cercului pentru treapta de impedanță unitară) poate fi reprezentat prin curbe în funcție de φ, pentru diverși $\frac{X_0}{\rho}$ (respectiv λ), iar cu ajutorul razei ρ_1,

determinată din aceste curbe, se găsește în funcție de impedanța dorită Z_{reg}, raza $\rho = Z_{reg} \cdot \rho_1$.

Această cale corespunde după cum se va vedea modului de reglare a releului.

Tabela 1.4

Unghiul liniei φ	55°—63°	63°—68°	68°—74°	74°—80°
Raportul $\frac{X_0}{\rho}$	80%	70%	60%	50%

In mod practic, pentru efectuarea reglajelor, parametrii cercului deplasat se stabilesc pornindu-se de la o tabelă care dă, pentru diverse intervale în care poate varia unghiul liniei φ, valoarea raportului $\frac{X_0}{\rho}$ prin care se realizează valori cuprinse în intervalul 0,5—0,6 (tabela 1.4).

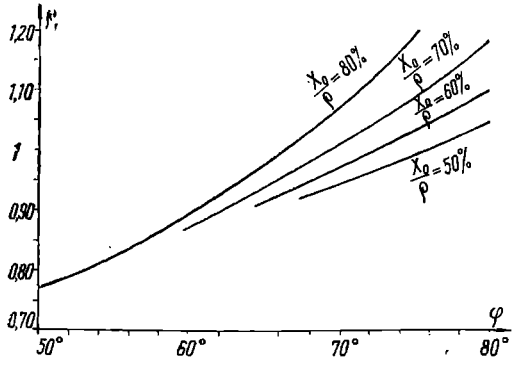


Fig. 1.20. Curbele pentru determinarea lui ρ_1 în funcție de φ, pentru diverși $\frac{X_0}{\rho}$.

Sînt construite de asemenea de la început, pentru uz general curbe care reprezintă pe ρ_1 în funcție de φ, pentru diverse rapoarte $\frac{X_0}{\rho}$ din tabela 1 (fig. 1.20). Deci pentru o linie oarecare, la care trebuie reglată protecția tip D110, fiind cunoscut unghiul φ, se alege din tabela 1 raportul $\frac{X_0}{\rho}$ și se determină apoi din fig. 1.20 valoarea lui ρ_1 respectiv a lui $\rho = Z_{reg}\,\rho_1$, unde Z_{reg} este impedanța dorită a treptei.

Schema organului de măsurat și valorile elementelor componente ale acestuia sînt realizate astfel încît prin alegerea valorilor reglabile V și ε în funcție de parametrii cercului $\left(\frac{X_0}{\rho} \text{ și } \rho\right)$,

determinați după cum s-a arătat, se obține drept diagramă de acționare cercul cu acești parametri.

Formulele de legătură între mărimile reglabile ale releului V și ε și parametrii cercului $\frac{X_0}{\rho}$ și ρ rezultă din relațiile de mai jos, determinate pe baza schemei din fig. 1.18, în care s-au păstrat notațiile folosite la prezentarea reglării în cazul neglijării arcului electric.

Tensiunea electromotoare a circuitului de curent este, ca și în acel caz, $e_i=k_1|\bar{I}|$, dar cea a circuitului de tensiune își modifică expresia, devenind $e_u=w_u|UV^*-nI|$.

Condiția de acționare devine deci

$$w_u\left|\frac{V}{R}\bar{U}-n\bar{I}\right|\leqslant k_1|\bar{I}\ ,$$

respectiv

$$\left|\frac{V}{R}\bar{U}-n\bar{I}\right|\leqslant\frac{k_1}{w_u}|\bar{I}|$$

sau

$$I\left|\frac{V}{R}\frac{\bar{U}}{\bar{I}}-n\right|\leqslant\frac{k_1}{w_u}I\,.$$

Ținînd seama că la scurtcircuitul bifazat analizat $-\frac{\bar{U}}{\bar{I}}=2\bar{Z}$, condiția de acționare este deci

$$\left|\frac{V}{R}2\bar{Z}-n\right|\leqslant\frac{k_1}{w_u}$$

sau

$$\left|\bar{Z}-\frac{n}{2\frac{V}{R}}\right|\leqslant\frac{k_1}{w_u}\frac{1}{2\frac{V}{R}}\,.$$

Conform notațiilor adoptate, $k_1=2rw_i$ și $\frac{rw_i}{w_u}=k$, unde k este impedanța minimă reglabilă a releului.

Introducînd aceste relații, condiția de acționare găsită devine

$$\left|\bar{Z}-\frac{n}{2}\frac{R}{V}\right|\leqslant\frac{kR}{V}\,.$$

Notînd $\frac{n}{2}=n'$ (raportul de transformare al transformatorului P împărțit prin 2), condiția de acționare a organului de măsurat devine în definitiv

$$\left|\bar{Z}-n'\frac{R}{V}\right|\leqslant\frac{kR}{V}\,.$$

Locul geometric al impedanțelor care satisfac această relație, deci diagrama de acționare a releului în planul Z, este un cerc avînd raza $r=\frac{kR}{V}$ și centrul deplasat pe abscisă la o distanță $e=\frac{n'R}{V}$ de origine (fig. 1.21). Pentru a se obține chiar cercul dorit vor trebui alese în consecință valorile lui V și n' (respectiv ε). Astfel, va trebui să avem $\frac{kR}{V}=\rho$, unde ρ este determinat după cum s-a văzut, cu ajutorul tabelei și al curbelor. Deci prin alegerea valorii lui V se stabilește raza cercului. Pe de altă parte, prin alegerea valorii lui n' se stabilește raportul $\frac{e}{r}$, care trebuie să fie egal cu raportul $\frac{X_0}{\rho}$ determinat din tabela 1. Intr-adevăr, $e=\frac{n'R}{V}=\frac{n'}{k}r$, deci $n'=\frac{e}{r}k$.

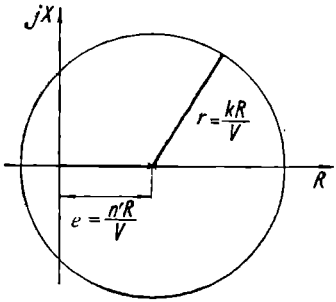


Fig. 1.21. Diagrama de acționare realizată de organul de măsurat.

Pentru k dat, alegîndu-se valoarea n', se alege de fapt raportul $\frac{e}{r}$ și, datorită acestui fapt, prizele celui de al doilea secundar al transformatorului P, pot fi etalonate direct în valori $\frac{n'}{k}=\frac{e}{r}$. Practic, pentru a corespunde tabelei 1, scala prizelor este etalonată în valorile acestui raport, exprimate în procente. Deci parametrul reglabil ε este etalonat direct în valorile necesare $\frac{X_0}{\rho}$, exprimate în procente.

Trebuie observat că pentru o valoare ε o dată reglată, raportul $\frac{e}{r}$ nu se schimbă dacă se modifică valoarea k prin modificarea conexiunii bobinelor primare ale transformatorului P. Intr-adevăr, dacă de exemplu, k se dublează, se dublează automat și n', astfel că $\frac{n'}{k}=\frac{e}{r}$ rămîne constant. Deci etalonarea raportului de transformare în valori ale lui $\varepsilon=\frac{n'}{k}=\frac{X_0}{\rho}$ este independentă de valoarea stabilită a lui k. Valorile care se pot stabili pentru ε la protecția tip D 110 corespund tabelei 1, deci unghiurilor uzuale ale liniilor.

În concluzie, reglarea releului unei linii date pentru realizarea treptelor de distanță se efectuează astfel:

pe baza tabelei 1, a curbelor din fig. 1.20 și a impedanței alese pentru treapta respectivă Z_{reg}, se aleg parametrii $\frac{X_0}{\rho}$, ρ_1 și resvectiv $\rho = \rho_1 Z_{reg}$;

pe baza parametrilor astfel determinați, se alege, la transformatorul P, priza care corespunde valorii $\varepsilon = \frac{X_0}{\rho}$ exprimată în procente; valoarea V trebuie aleasă astfel încît să fie satisfăcută relația $\frac{kR}{V} = \rho_1 Z_{reg}$.

Deoarece, după cum se știe, și prizele transformatorului V sînt etalonate în procente, formula de reglare a prizelor este

$$V = \frac{Rk}{\rho_1 Z_{reg}} 100\,\%$$

Din prezentarea modului de reglare a protecției tip D111 pentru realizarea treptelor de distanță și a felului în care se obțin cele două diagrame de acționare posibile (cerc cu centrul în origine și cerc deplasat) rezultă și gama de reglare posibilă.

Întrucît pentru V se poate stabili și valoarea zero, rezultă că teoretic Z_{regl} poate fi și infinit. Deci, lungimea liniei care poate fi protejată de protecția tip D110 nu este limitată de organul de măsurat ci de cel de pornire.

Analiza felului în care releul realizează o diagramă de acționare în formă de cerc deplasat permite de asemenea depistarea eventualelor defecțiuni care se manifestă prin acționarea protecției altfel decît în conformitate cu această diagramă.

La protecția tip D110 (D111), trebuie reglate de asemenea releul de timp, elementul homopolar și prizele rezistenței de pe conductorul de întoarcere. Aceste reglaje nu ridică însă probleme noi, specifice acestei protecții, și de aceea nu vom insista asupra lor.

2. PUNEREA ÎN FUNCȚIUNE ȘI ÎNTREȚINEREA REGULATOARELOR DE TENSIUNE AUTOMATE ALE GENERATOARELOR ȘI ALE COMPENSATOARELOR SINCRONE

În centralele electrice din țara noastră, cele mai frecvent utilizate sînt regulatoarele automate de tensiune cu contacte alunecătoare și cele cu compundare cu corector electromagnetic. Deoarece acestea diferă în ce privește construcția și principiul de funcționare, le vom examina separat. Unele detalii asupra construcției, montajului, probelor de punere în funcțiune și întreținerii sînt reproduse după instrucțiunile fabricilor constructoare.

2.1. Regulatoarele cu contacte alunecătoare

Regulatoarele de tensiune automate cu contacte (cu sectoare) alunecătoare folosite în țara noastră sînt construite de firma Brown Boveri din Elveția și sînt denumite de constructor și *regulatoare cu acțiune rapidă;* ele se execută în două variante principale: tipul AB 2/1, cu două sectoare alunecătoare și tipul AB 4/1 cu patru sectoare.

Presupunîndu-se cunoscută construcția și funcționarea regulatoarelor cu contacte alunecătoare [B 1] se va insista în special asupra punerii lor în funcțiune, a întreținerii și a fenomenelor anormale care se pot ivi în funcționare.

2.1.1. Punerea în funcțiune a regulatorului

Verificarea montajului. Se verifică dacă regulatorul a fost montat corect pe panou, ferit de praf, umiditate, gaze, vapori, acizi etc.

Se verifică exactitatea conexiunilor. În fig. 2.1 sînt reprezentate elementele constructive ale regulatorului, iar în fig. 2.2. este reprezentată schema conexiunilor interioare ale acestuia.

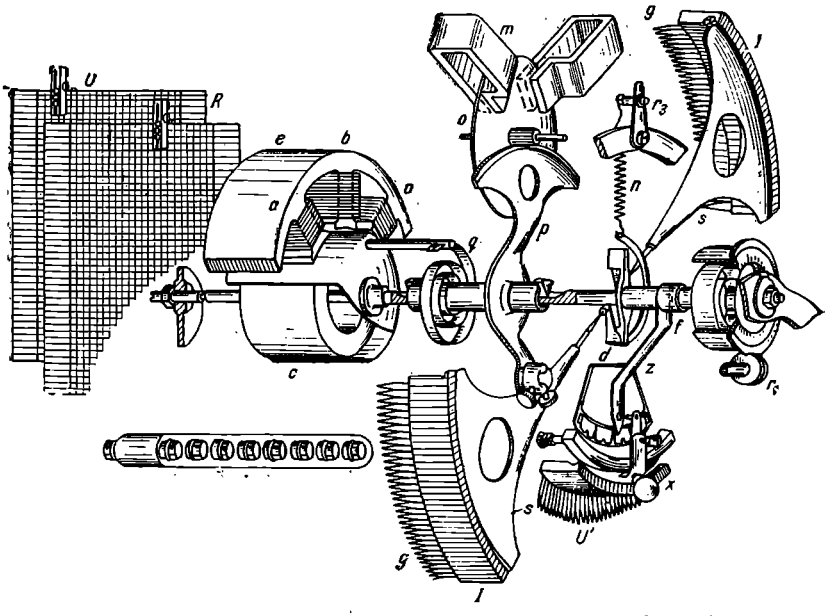


Fig. 2.1. Regulator automat de tensiune, cu contacte alunecătoare.

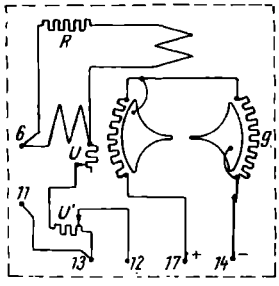


Fig. 2.2. Schema conexiunilor interioare ale regulatorului de tensiune.

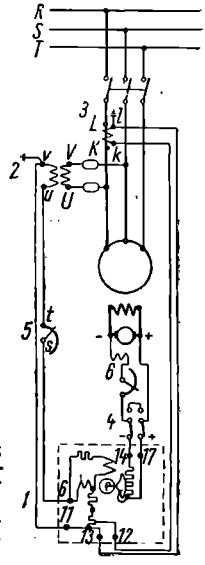


Fig. 2.3. Schema de conexiuni a generatoarelor care funcționează în paralel, prevăzute cu regulatoare de tensiune statice, fără compundare:

1 — regulator de tensiune; 2 — transformator de tensiune; 3 — transformator de curent de compensare; 4 — comutator; 5 — reostat de reglare; 6 — reostat de cîmp.

În cazul generatoarelor care funcționează în paralel și sînt prevăzute cu regulatoare de tensiune cu caracteristică statică pozitivă, pentru verificarea conexiunilor se folosește schema de bază din fig. 2.3; în cazul generatoarelor care funcționează în paralel și sînt prevăzute cu regulatoare de tensiune cu caracteristică statică negativă se folosește schema din fig. 2.4.

Se atrage atenția asupra respectării polarității bornelor *14* (—) și *17* (+). Dacă nu se respectă legăturile la pămînt ale circuitelor secundare indicate în scheme, există pericolul ca părți ale înfășurărilor să fie scurtcircuitate, deoarece circuitele de tensiune și de curent sînt legate electric în interiorul regulatorului.

Transformatorul de tensiune se racordează la aceleași faze la care este conectat și voltmetrul. Siguranțele fuzibile nu se leagă decît pe partea de înaltă tensiune a transformatorului și se calibrează la un curent de cel puțin trei ori mai mare decît curentul nominal primar al transformatorului de tensiune. Conductoarele din circuitul secundar al transformatorului de tensiune nu se leagă la bornele *6* și *11* decît înainte de punerea în funcțiune a regulatorului. Transformatoarele de tensiune dintr-o centrală utilizate pentru alimentarea regulatoarelor de tensiune trebuie să aibă aceleași rapoarte de transformare. Transformatoarele de curent vor fi montate conform schemelor indicate mai sus, respectîndu-se cu strictețe poziția relativă a fazelor la care sînt conectate acestea și transformatorul de tensiune.

Controlul mecanic. Dacă pe sistemul de contacte s-a adunat praf se scot sectoarele de contact (se scoate conexiunea flexibilă de la bornă și se apasă partea ascuțită a sectorului spre centru); praful se curăță cu ajutorul unei bucăți de stofă uscată și se înlătură cu grijă reziduurile, prin suflare. Sub nici un motiv nu se va utiliza hîrtie sau pînză abrazivă.

Pentru a se asigura că sistemul mobil se deplasează complet liber, se apucă indicatorul *z* între două degete și se aduce prin mișcări sacadate în diverse poziții. Segmentul *p* trebuie să urmeze cu o mișcare regulată, atît de repede cît îi permite amortizarea, toate deplasările indicatorului *z* și trebuie să se oprească totdeauna în fața acestuia. Sectoarele de contact trebuie să se deplaseze pe căile de rulare și să preseze corect (cu circa 200 gf la tipul AB 2/1 și cu 300 gf la tipul AB 4/1).

Controlul electric. Înainte de a se efectua o încercare (eventual cu tensiunea de 2 000 V), se va avea grijă ca regulatorul, care

poate să fi absorbit umiditate în timpul transportului sau al depozitării, să fie bine uscat.

a) *Indicații generale.* Pentru asigurarea unui reglaj static, șurubul de reglare r_3 (fig. 2.1) trebuie așezat la 6% (în cazuri spe-

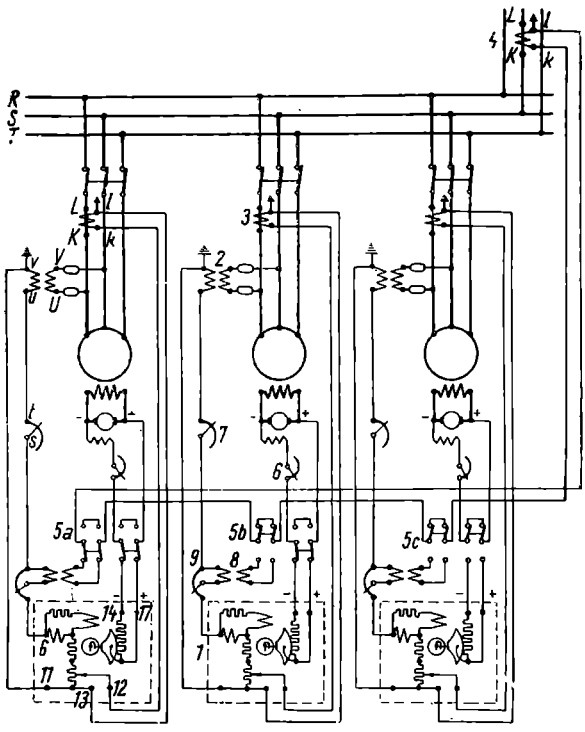


Fig. 2.4. Schema de conexiuni a generatoarelor care funcționează în paralel, prevăzute cu regulatoare de tensiune statice cu compundare:

1 — regulator de tensiune; 2 — transformator de tensiune; 3 — transformator de curent de compensare; 4 — transformator de curent de compundare; 5 — comutator; 6 — reostat de cîmp; 7 — reostat de reglare; 8 — transformator de curent de izolare; 9 — reostat de compundare.

ciale 12%). Semnul casetei care conține resortul *f* trebuie să se găsească la mijlocul șurubului de reglare *r*. Cursorul *x* va fi așezat în poziția extremă din dreapta; comutatorul *4* (fig. 2.3) va fi pus pe poziția *„reglare manuală"*, iar reostatul de reglare *5*, dacă există, va fi scurtcircuitat, adică pus pe poziția „*O*" a scării.

Se vor conecta bornele *6* și *11* ale regulatorului la bornele corespunzătoare ale transformatorului de tensiune și se vor monta fuzibilele pe partea sa de înaltă tensiune, celelalte legături fiind realizate în prealabil. La viteza normală, tensiunea generatorului este adusă manual, cu ajutorul reostatului de cîmp, la valoarea inferioară de reglaj, indicată pe plăcuța regulatorului (fig. 2.5) (între bornele *6* și *11* în cazul reglării automate, cu reostatul de reglaj scurtcircuitat). Îndată ce această tensiune este atinsă, indicatorul *z* trebuie să se deplaseze de la opritorul din dreapta spre stînga. În cazul regulatoarelor statice — de care ne ocupăm — variația de tensiune care face să se deplaseze indicatorul *z* de la o extremitate la alta crește cu valoarea statismului (în general 6%); tensiunea indicată pe plăcuța regulatorului se referă la poziția *3* a indicatorului.

Nr. B 27852	*Tip AB 2/1*
V 102	*Ω 16,2*
A 6,5/4	*f 50*
A	*at*
VA	

Fig. 2.5. Plăcuța regulatorului: *B 27.852* — numărul de fabricație; *V 102* — valoarea inferioară de reglare a tensiunii (tensiunea între bornele *6* și *11*, în cazul reglajului automat cu reostatul de reglaj scurcircuitat; poziția 3 a indicatorului *z*); *A 6,5/4* — curenții maximi admisibili ai regulatorului în cazul pozițiilor *0* respectiv *4* ale indicatorului *z*; *Ω 16,2* — rezistența totală a regulatorului (măsurată între bornele *14* și *17*); *f 50* — frecvența.

Dacă indicatorul *z* nu a părăsit încă opritorul din dreapta sau dacă el apasă puternic pe opritorul din stînga și dacă reglajul resortului principal corespunde reglajului inițial efectuat în uzina constructoare (semnul casetei resortului *f* se află în dreptul mijlocului șurubului de reglaj r_1) cauza este probabil un raport de transformare incorect al transformatorului de tensiune sau o cădere mare de tensiune în circuitele dintre transformatorul de tensiune și bornele *6* și *11*. O corecție mică (maximum $\pm 5\%$ sau ± 6—7 dinți ai casetei resortului) poate fi efectuată cu ajutorul șurubului de reglare r_1.

La prima punere în funcțiune a regulatorului, trecerea la reglarea automată va fi efectuată pe cît posibil la funcționarea în gol a generatorului. Cu ajutorul reostatului de cîmp se micșorează puțin tensiunea pînă cînd indicatorul *z* ajunge pe cifra *0* a scării. În acest moment toate elementele de rezistență sînt scurtcircuitate și se poate pune maneta comutatorului în poziția *„reglare automată"*. Apoi, se micșorează rezistența reostatului de cîmp pînă cînd indicatorul *z* se oprește aproximativ în fața cifrei *3* a scării. În acest caz generatorul va putea fi conectat în paralel și adus gradat pînă la plină sarcină, la factorul de putere minim și la tensiunea de funcționare maximă prevăzută (aceasta va fi reglată prin rotirea manetei reostatului de reglare). La plină sar-

cină, indicatorul *z* trebuie să se găsească în dreptul cifrelor *0,5÷1*, fără a se modifica reglajul reostatului de cîmp. Dacă la plină sarcină indicatorul *z* atinge opritorul din dreapta, reostatul de cîmp trebuie scurtcircuitat mai mult, pînă cînd indicatorul ajunge aproximativ în poziția 0,5. Apoi generatorul va fi descărcat din nou. La mersul în gol, indicatorul *z* nu trebuie să se sprijine pe opritorul din stînga, dar trebuie să se găsească aproximativ în dreptul cifrei *3,5* a scării. Dacă indicatorul *z* se spijină din nou pe opritorul din stînga și dacă nu este posibil a se regla reostatul de cîmp astfel ca opritoarele să nu fie atinse, rezultă că rezistența *g* din interiorul regulatorului are o valoare prea mică, probabil din cauza datelor insuficiente sau inexacte privind excitația, furnizate la comanda regulatorului.

Dacă la plină sarcină indicatorul *z* nu ajunge decît în dreptul cifrei *2* a scării, se va deplasa reostatul de cîmp în sensul măririi rezistenței, pînă cînd indicatorul se plasează în dreptul cifrelor *1÷0,5* ale scării. Cînd generatorul este descărcat din nou, indicatorul trebuie să ajungă în dreptul cifrei *2,5* a scării. Rezistența regulatorului este în acest caz puțin cam larg dimensionată: dacă nu există oscilații pendulare, rezistențele de reglare se pot lăsa neschimbate și nu se modifică poziția reostatului de cîmp.

In cazul în care nu ar exista posibilitatea de a se încărca generatorul așa cum s-a arătat mai sus, se recomandă a se efectua încercarea următoare. Se procedează așa cum s-a indicat mai sus, pentru reglarea reostatului de cîmp, indicatorul *z* al regulatorului trebuind plasat în dreptul cifrei *3* a scării. Generatorul fiind în gol (deconectat de la rețea) indicatorul este împins încet cu mîna spre dreapta, pînă cînd curentul de excitație atinge o valoare de *2÷2,5* ori mai mare decît curentul de excitație la mersul în gol. Această valoare corespunde aproximativ curentului de excitație la plină sarcină și trebuie să corespundă aproximativ cifrei *1* a scării. Dacă valoarea curentului de excitație nu variază în acest sens, se va roti maneta reostatului de cîmp în sensul corespunzător reducerii rezistenței, în cazul în care indicatorul *z* se află dincolo de cifra *1*, sau în sens contrar în cazul în care curentul de excitație dorit corespunde aproximativ cifrei *1,5* a scării. Supratensiunea trecătoare apărută în aceste încercări nu prezintă pericole pentru un generator în bună stare. Dacă există îndoieli asupra acestui lucru, se recomandă a nu se efectua încercarea.

Se atrage atenția ca la efectuarea încercărilor de mai sus, viteza grupului să fie reglată exact pentru frecvența normală, iar regulatorul de tensiune și înfășurarea rotorului generatorului și a excitatoarei să fie în prealabil puțin încălzite prin curent.

Pozițiile reostatului de cîmp și reglajul eventual corectat al resortului principal *f* trebuie marcate și nu trebuie niciodată schimbate. În majoritatea cazurilor, cu acest reglaj se pot compensa suficient variațiile de tensiune care apar în timpul funcționării.

În cazul generatoarelor de construcție veche, care sînt prevăzute cu reostate de cîmp tip serie, este indicat ca acestea să nu fie scurtcircuitate complet pînă cînd tensiunea de excitație nu scade la o sarcină mică a mașinii, sub limita funcționării stabile a excitatoarelor. În acest caz, se va marca tot cu un semn colorat plotul pe care trebuie plasată maneta reostatului de cîmp principal și se va prescrie ca poziția acestuia să nu fie schimbată.

Pentru încercarea reostatului de reglare se vor intercala pe rînd rezistențele reostatului dacă tensiunea la bornele generatorului crește pînă la valoarea dorită. Datorită standardizării rezistențelor reostatului, unele dintre ele vor produce la bornele generatorului o creștere a tensiunii mai mare decît cea dorită; cu toate acestea, reglarea tensiunii se va putea efectua cu exactitatea voită. Dacă tensiunea nominală nu este atinsă înainte sau spre mijlocul reostatului de reglare, domeniul de reglare al acestuia poate fi decalat cu aproximativ $\pm 5\%$ cu ajutorul șurubului de reglare r_1.

Pentru a se analiza acționarea amortizării, în cazul mersului în gol al generatorului, se deplasează cu mîna cilindrul mobil respectiv indicatorul *z*, pînă se provoacă o variație a tensiunii generatorului de aproximativ 10%, iar pe urmă este lăsat brusc din mînă. Cilindrul nu trebuie să execute mai mult de 2—3 oscilații înainte de a-și relua poziția de echilibru și de a aduce tensiunea la valoarea sa normală. Amortizarea este reglată de firma constructoare pentru efectul maxim, cînd magneții amortizori sînt așezați complet în interior. În majoritatea cazurilor nu este necesară o amortizare maximă. Magneții pot fi deplasați spre marginea discului amortizor (se vor deșuruba bridele și se vor înșuruba după deplasarea magneților).

Trecerea de la reglajul automat la reglajul manual se face manevrîndu-se simultan reostatul de reglare, pentru a nu se produce fluctuații de tensiune și reostatul de cîmp astfel ca indicatorul *z* să fie adus la opritorul din dreapta; se pune apoi comutatorul pe poziția *„reglare manuală"*.

b) *Date speciale privind regulatoarele statice ale generatoarelor care funcționează în paralel și debitează direct pe barele colectoare* (fig. 2.3). Pentru ca tensiunea reglată să nu fie influențată de statism, aceasta se compensează cu ajutorul unui transformator de curent. Efectul compensării nu depinde numai de valoarea absolută a curentului, ci și de cos φ. Se obține astfel stabi-

lizarea statică a regulatorului, adică funcționarea sa după o *caracteristică statică pozitivă* (fabrica constructoare denumește acest procedeu compensare).

Pentru încercarea compensării, generatorul funcționînd în gol și fiind deconectat, se deplasează cursorul *x* de la opritorul din dreapta pînă aproape de poziția sa mediană. Indicatorul *z* nu trebuie să se deplaseze; dacă el se deplasează înseamnă că transformatorul de curent nu a fost legat corect la pămînt și trebuie refăcută legătura conform schemei.

Dacă legăturile la pămînt sînt corecte, folosindu-se reglarea manuală, generatorul va fi conectat în paralel cu rețeaua după ce excitația a fost reglată astfel ca el să nu debiteze.

Dacă, fără a se modifica excitația, generatorul se încarcă printr-un reglaj corespunzător al regulatorului mașinii primare — la aproximativ 1/4—1/2 din curentul nominal, pentru a debita putere activă, și dacă se deplasează cursorul *x* al regulatorului de la opritorul din dreapta spre poziția mediană, indicatorul *z* trebuie să se deplaseze spre dreapta (generatorul este subexcitat și compensarea trebuie să provoace o creștere a excitației). Cursorul va fi adus apoi din nou la opritorul din dreapta.

Dacă, din contra, facem ca generatorul să funcționeze fără a debita putere activă, dar cu excitație de aproximativ 1/4—1/2 din valoarea nominală (creșterea tensiunii pe barele colectoare, care rezultă în acest caz, este corectată de regulatoarele de tensiune ale altor mașini sau manual) cînd se mută cursorul *x* de la dreapta spre poziția mediană (generatorul este supraexcitat și compensarea trebuie să provoace o reducere a excitației) indicatorul *z* trebuie să se deplaseze spre stînga. În cazul în care aceste două deviații nu se produc în sensul dorit, trebuie inversate între ele conductoarele legate la bornele *12* și *13*. Această operație nu se efectuează decît cu generatorul în gol, deoarece s-ar putea produce supratensiuni periculoase la bornele transformatorului de curent cu circuitul secundar deschis. Dacă transformatorul de curent are o legătură la pămînt, trebuie să se aibă grijă ca după inversarea conexiunilor, legarea la pămînt să fie făcută întotdeauna la borna transformatorului de curent care este conectată cu borna *13* a regulatorului. Dacă, din contra, cele două deviații se produc în același sens, înseamnă că transformatorul de curent este legat pe altă fază și trebuie schimbat corespunzător.

Dacă deviațiile cilindrului mobil se produc în sensul dorit, se va muta definitiv cursorul *x* spre stînga, pînă cînd tensiunea generatorului la plină sarcină și la factorul de putere la care se

funcționează normal la aceiași valoare ca la mersul în gol. Reglajul corect nu poate fi determinat în general decît într-o perioadă oarecare de funcționare.

La toate generatoarele care funcționează în paralel, se va controla dacă bornele regulatoarelor notate cu aceleași cifre sînt conectate la aceleași faze. La mersul în gol regulatoarele de tensiune ale tuturor generatoarelor trebuie să regleze tensiunea acestora la aceiași valoare. Pentru a se controla acest lucru, se folosește întotdeauna același voltmetru și eventual un transformator de tensiune portabil. Se va obține astfel pentru toate generatoarele dintr-o centrală același factor de putere.

c) *Date speciale privind regulatoarele statice cu compundare* (fig. 2.4). Acese montaje se aplică la generatoarele care funcționează în paralel însă debitează pe bare prin transformatoare sau reactoare sau cînd se dorește a se menține tensiunea constantă într-un anumit punct îndepărtat. Pentru aceasta se realizează compensarea statică, adică funcționarea după o caracteristică statică negativă (se mărește tensiunea reglată în funcție de curentul de sarcină). Fabrica constructoare denumește acest procedeu compundare. În acest caz pe lîngă cele arătate, se adaugă și condițiile care urmează.

În cazul în care mai multe generatoare care funcționează în paralel sînt prevăzute cu compundare, li se montează separat transformatoare de curent de compensare și de compundare. Transformatoarele de curent de compensare (faza R) se montează în circuitele fiecărui generator; încercarea compensării poate fi efectuată exact ca mai sus. Transformatorul de curent de compundare (faza S) din contra, se leagă la linia de plecare, fiind comun pentru toate generatoarele. Dacă liniile sînt de tensiuni foarte mari, iar utilizarea unui transformator de curent ar mări mult costul instalației de reglare, se pot folosi pentru compundare curenții fazelor S ale generatoarelor totalizați cu ajutorul unui transformator de curent totalizator.

Se poate folosi fie un comutator tetrapolar cu poziție mediană, fie două comutatoare bipolare, cu care se dispune de trei posibilități (fig. 2.4):

— reglarea automată cu compundare (5, *a*)
— reglarea automată fără compundare (5, *b*)
— reglarea manuală (5, *c*)

Transformatorul auxiliar *8* servește pentru separarea electrică a circuitelor diferitelor regulatoare.

Deoarece reostatul de reglare al regulatorului este utilizat pentru compensare, se folosește pentru compundare reostatul special *9*.

Incercarea compensării fiind terminată, ne vom asigura că transformatorul de curent de compundare este legat corect pe faza (S), defazată în urma celor două faze utilizate pentru conectarea transformatorului de tensiune.

In sarcină, se va regla compundarea dorită (maximum 15%) cu ajutorul reostatului de compundare *9*. Deplasarea cursorului spre stînga trebuie să provoace, cînd generatorul este încărcat, o deviație spre dreapta a indicatorului *z*, mai mare pentru o sarcină activă decît pentru una reactivă. Dacă cele două deviații sînt mari și au ambele sensul nedorit, polaritatea transformatorului de curent este greșită. Dacă numai sarcina activă provoacă deviația, transformatorul de curent este legat pe faza R în loc de S. Reostatele de compundare ale generatoarelor conectate în paralel trebuie reglate în același fel.

2.1.2. Întreținerea și exploatarea regulatorului

După indicațiile firmei constructoare, regulatorul nu necesită o întreținere propriu-zisă, el nu posedă nici o piesă supusă uzurii și nu trebuie în nici un caz gresat. Praful care se depune eventual pe carcasă trebuie șters înainte de a fi deschisă. Dacă s-a introdus praf în interiorul carcasei, se va sufla regulatorul cu ocazia unei revizii. Dacă este necesar se vor șterge sectoarele de contact și căile de rulare cu o bucată de stofă curată și uscată.

Trecerea de la reglarea manuală la reglarea automată poate fi efectuată în orice moment fără nici o perturbație, dacă s-au respectat indicațiile de mai sus; la fel trecerea de la reglarea automată la reglarea manuală.

Dacă un generator trebuie să fie oprit nu este nevoie să se deconecteze regulatorul; la fel, reostatele derivație și serie trebuie lăsate în poziția fixată. In timpul manevrelor uzuale pentru micșorarea sarcinii, acționîndu-se asupra regulatorului de viteză se reduce automat curentul de excitație, astfel că generatorul se poate declanșa practic fără curent.

La punerea în funcțiune a unui generator, reostatele serie și derivație fiind deja reglate în poziția de lucru, cînd viteza crește, regulatorul intră automat în acțiune.

Pentru modificarea tensiunii, șurubul de reglaj r_1 nu trebuie utilizat decît în cazuri rare și cînd variația necesară nu depășește $\pm 5\%$. Dacă este nevoie să se realizeze variații mai frecvente ale tensiunii de serviciu, trebuie să se prevadă în acest scop reostate de reglare.

Modificarea tensiunii de funcționare sau a sarcinii reactive în cazul funcționării în paralel, se efectuează numai cu ajutorul

reostatului de reglare. Reostatul de cîmp și șurubul de reglare al reostatului principal rămîn întotdeauna în poziția determinată conform indicațiilor de mai sus.

Se atrage atenția că reostatele de reglare ale tuturor generatoarelor trebuie să fie reglate gradat la aceiași valoare, pînă se atinge tensiunea dorită. Dacă se dorește o repartiție uniformă a puterii reactive pe generatoarele care funcționează în paralel, toate reostatele trebuie să se afle în cazul cînd sînt identice — pe aceiași cifră a cadranului.

2.1.3. Fenomene anormale

În timpul reglării automate, cînd reostatul de cîmp nu se află în poziția corespunzătoare, se pot produce variații continue ale tensiunii. Indicatorul *z* ajunge prematur la capătul cursei și deci regulatorul nu mai funcționează; trebuie să se modifice deci reglajul reostatului, după cum s-a arătat mai înainte.

Oscilații continue ale sistemului mobil, discul amortizor rămînînd aproape nemișcat. Dacă nu este posibil să se suprime aceste oscilații schimbîndu-se caracteristica reostatului, valoarea rezistenței este probabil prea mare. Aceasta se observă ușor dacă de la mersul în gol la plină sarcină indicatorul *z* nu parcurge chiar jumătate din drum (v. subcap. 2.1.2.)

Oscilații lente ale sistemului mobil, discul amortizor fiind totuși antrenat. Acestea pot să se producă eventual la mașinile cu inerție mare. Se vor regla magneții amortizori în sensul măririi amortizării, în timp ce efectul reostatelor va fi redus cît este posibil.

Dacă excitatoarele au poli auxiliari, oscilațiile pot fi suprimate adesea decalîndu-se ușor periile din zona neutră în sens invers rotației, cu condiția ca scînteile la perii să rămînă între limitele admisibile.

Se mai poate întîmpla ca regulatorul de viteză al motorului primar și regulatorul de tensiune să fie în oscilații continue și corespondente, mai ales cînd primul are un joc mai mare sau o amortizare mai mică. În acest caz defectul trebuie corectat.

Scîntei la căile de rulare. Fenomenul se datorește prafului de pe ploturi sau unei suprasarcini. În acest caz trebuie să se treacă imediat la reglarea manuală. Dacă aceste scîntei se produc și după curățirea contactelor, se vor controla curenții de excitație.

Repartiție inegală a puterii reactive între generatoarele care funcționează în paralel. Dacă repartiția puterii reactive nu este satisfăcătoare cu toate că poziția reostatelor de reglare este ace-

iași și cu toate că reglarea tensiunii la mersul în gol a fost corectă, este posibil ca reglarea compensării să fie prea slabă sau prea puternică la unul sau la mai multe regulatoare.

2.2. Sisteme de reglare prin compundare, cu corector electromagnetic

Sistemele de reglare ale tensiunii prin compundare cu corector electromagnetic sînt folosite în majoritatea centralelor noi din țara noastră, echipate cu generatoare fabricate în U.R.S.S. Ele fac parte din categoria regulatoarelor electromagnetice care folosesc amplificatoare magnetice și variază excitația excitatoarei atît în funcție de curenții de sarcină ai generatorului cît și de tensiunea la bornele acestuia.

Pentru a se mări excitația pînă la valoarea plafon — în cazul unor scăderi bruște și de mai mare valoare ale tensiunii — se instalează pe lîngă aceste regulatoare dispozitive de forțare a excitației.

Sistemele de reglare cu corector electromagnetic cele mai frecvent folosite sînt de tipurile ЭМК, ЭПА-102, ЭПА-103 și ЭПА-105. Ele sînt destinate în general pentru variația excitației excitatoarei, printr-un curent produs de regulator în înfășurarea de excitație a excitatoarei și într-o înfășurare de excitație separată (suplimentară). Sistemele ЭМК și ЭПА-103 pot fi folosite și în cazul excitatoarelor fără înfășurare de excitație separată, în acest caz curentul produs de regulator suprapunîndu-se peste curentul din circuitul de excitație al excitatoarei. Toate aceste dispozitive de reglare se compun din trei părți principale:

— instalația de compundare în funcție de curentul de sarcină al generatorului;

— corectorul electromagnetic de tensiune;

— instalația de forțare a excitației prin relee.

Presupunîndu-se cunoscută construcția și funcționarea sistemelor de reglare prin compundarea cu corector electromagnetic (BI) se va insista asupra punerii în funcțiune, întreținerii și fenomenelor anormale care se pot ivi în funcționare.

2.2.1. Punerea în funcțiune a dispozitivelor de reglare automată, tip ЭПА-102 și ЭПА-105

Verificarea montajului. Înainte de verificarea dispozitivelor, se efectuează un control al legăturilor, după schemele de principiu și de montaj (fig. 2.6). Se controlează nu numai legăturile

regulatorului propriu-zis, ci și ale aparatelor auxiliare, ale transformatoarelor de curent și de tensiune, ale circuitului de excitație al generatorului etc.

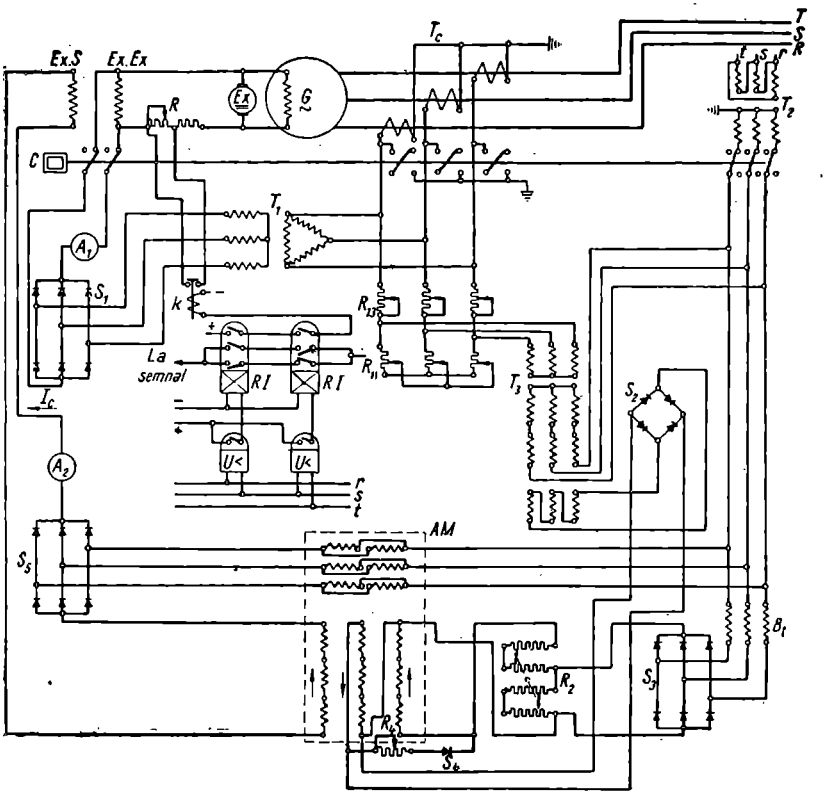


Fig. 2.6. Schema dispozitivului tip EPA-102 de reglare automată a excitației generatoarelor sincrone.

Ex. Ex — excitația excitatoarei; *Ex. S* — excitația suplimentară a excitatoarei; *C* — corector; *R* — rezistență de excitație; *A*, — ampermetrul compundării; T_1 — transformator intermediar de compundare; S_1 — redresor de compundare; *K* — contactor; A_2 — ampermetrul corectorului; S_5 — redresorul corectorului; *AM* — amplificator magnetic; R_{11} — rezistență de reglaj al statismului; R_{13} — rezistență de reglaj al compundării; S_2 — redresorul elementului neliniar; S_3 — redresorul elementului liniar; S_4 — redresor de blocare; *Bl* — bobină de șoc liniară; R_2 — reostat de reglare a corectorului.

Verificarea exterioară a panoului: — fixarea aparatelor, — starea contactelor și mai ales a punctelor de lipitură ale redresoarelor cu seleniu; — starea contactelor alunecătoare ale reostatelor.

Verificarea izolației. Izolația conductoarelor și cablurilor, a instalațiilor panoului cu transformatoarele de curent și de tensiune și a aparatajului din camera de comandă se măsoară față de pământ între conductoare și între circuite, cu megohmmetrul de 1 000 V; izolația nu trebuie să fie mai mică de 10 MΩ. Izolația față de pământ se încearcă în curent alternativ la 1 000 V sau cu megohmmetrul de 2 500 V. Pentru evitarea străpungerii redresoarelor în timpul acestor încercări, ele se scurtcircuitează (se șuntează fiecare ramură separată a coloanelor punților de redresare).

Încercarea redresoarelor. Înainte de punerea în exploatare a dispozitivului de reglare este necesară încercarea redresoarelor. Se efectuează o încercare de lungă durată (cîteva ore), cu un curent la care tensiunea inversă pe fiecare element redresor este de 10—12 V. In acest caz curentul de sarcină nu trebuie să fie mai mare de 4,5 A pentru puntea trifazată (S_1, S_3, S_5), de 3 A pentru puntea monofazată (S_2) și de 1,5 A pentru redresorul simplu (S_4). Încercarea, de exemplu, a unei punți de redresare trifazate, se efectuează după schema reprezentată în fig. 2.7. De la o sursă separată prin intermediul unor rezistențe reglabile, se aplică o tensiune trifazată simetrică punții de redresare. Curenții și tensiunile între faze și curentul redresat nu trebuie să depășească valorile corespunzătoare regimului normal de funcționare. Se verifică valorile și simetria curenților și tensiunilor, cu ajutorul ampermetrelor A_1 și A_2 și al voltmetrului V. Raportul dintre curentul redresat și cel alternativ trebuie să fie cel puțin 1,15 pentru schema în punte trifazată și de 0,8 pentru cea monofazată. Pentru a se evita străpungerea redresorului, circuitul curentului redresat nu se lasă deschis.

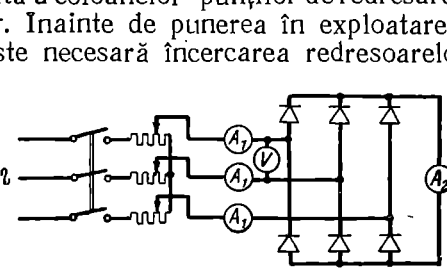


Fig. 2.7. Încercarea unei punți de redresare trifazate.

Tensiunea pe fiecare element redresor se măsoară după schema reprezentată în fig. 2.8. Se folosește un voltmetru electromagnetic cu rezistență interioară mare (de ordinul a 1 000 Ω/V). Se mai

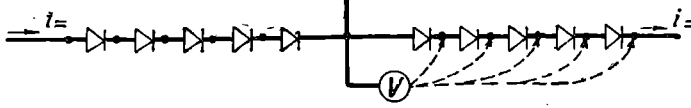


Fig. 2.8. Măsurarea tensiunii pe fiecare element de redresare.

recomandă o încercare suplimentară prin cîteva impulsuri scurte (a cîte 1 s), cu o tensiune inversă pînă la 20 V pe elementul redresor.

Conectarea compundării. Compundarea poate fi conectată în orice regim al generatorului, cu corectorul de tensiune conectat sau deconectat. Prima conectare de punere la punct a compundării trebuie efectuată la sarcina plină a generatorului și la factorul de putere nominal.

La conectarea compundării trebuie respectată următoarea ordine a operațiilor:

— se verifică polaritatea bornelor de ieșire ale instalației de compundare și se compară cu polaritatea înfășurării principale de excitație;

— se scot punțile care scurtcircuitează transformatoarele de curent;

— se verifică poziția reostatului de reglare al compundării R_3, care trebuie să fie scos complet din circuit (rezistența minimă);

— se închide, cu comutatorul C, circuitul curentului redresat al compundării și cel al curentului alternativ (dacă sînt comutatoare diferite, se închide întîi circuitul curentului redresat și apoi cel al curentului alternativ);

— se introduce (în sensul măririi rezistenței) reostatul de reglare al compundării R_3, pînă cînd curentul de compundare se stabilește la valoarea cerută de regimul de compundare al generatorului; regimul de compundare se controlează cu ampermetrul A_1, din circuitul curentului redresat de compundare.

Deconectarea compundării. În mod normal, compundarea se deconectează înaintea unei opriri de lungă durată a generatorului. Se recomandă ca aceasta să fie executată după deconectarea corectorului de tensiune.

La deconectarea compundării se scoate din circuit (în sensul micșorării rezistenței) reostatul de reglare al compundării R_3. În acest caz curentul de excitație necesar se reglează cu ajutorul reostatului R al excitatoarei.

Punerea la punct a corectorului. Înainte de a se conecta corectorul la generator, polaritatea bornelor de ieșire ale corectorului, trebuie determinată și comparată cu polaritatea înfășurăriii de excitație (în cazul folosirii regulatorului ЭПА-103) sau cu aceia a înfășurării suplimentare de excitație a excitatoarei (în cazul folosirii regulatoarelor ЭПА-102 sau ЭПА-105).

Prima conectare de punere la punct a corectorului trebuie efectuată la mersul în gol al generatorului. În acest caz, instalația de *„forțare prin relee a excitației"* trebuie deconectată.

La conectarea corectorului, înfășurarea de excitație a excitatoarei la care se conectează aceasta trebuie șuntată cu o rezistență, astfel încît mărindu-se treptat rezistența de șuntare, corectorul să intre în funcțiune în mod treptat. Totodată trebuie urmărit ca la scăderea tensiunii la bornele generatorului să nu aibă loc o supraîncărcare excesiv de lungă durată a corectorului și a transformatoarelor de tensiune.

Înainte de conectarea corectorului, reostatul de reglare al corectorului R_2 se așază pe poziția corespunzătoare curentului minim al corectorului.

Prima conectare a corectorului se efectuează pentru timp scurt, notîndu-se curentul corectorului și variația tensiunii generatorului. Dacă în acest caz curentul corectorului este minim, acesta se conectează pentru un timp mai îndelungat, urmărindu-se funcționarea generatorului. În cazul măririi neînsemnate a tensiunii generatorului, aceasta este adusă la valoarea ei nominală prin introducerea în circuit a reostatului derivație R; pe urmă, cu ajutorul reostatului de reglare al corectorului R_2, curentul corectorului este mărit treptat pînă la valoarea lui minimă la mersul în gol al generatorului (1—1,20 A), menținîndu-se tensiunea nominală a generatorului prin introducerea concomitentă a reostatului derivație R. Se mărește apoi treptat rezistența reostatului care șuntează înfășurarea de excitație a excitatoarei la care este conectat corectorul sau rezistența care șuntează înfășurarea de reacție a amplificatorului magnetic, menținîndu-se constant curentul corectorului și tensiunea generatorului, cu ajutorul reostatului derivație R.

Se verifică stabilitatea reglării printr-o conectare de scurtă durată cu un interval de circa 1—2 s) a corectorului pe partea curentului alternativ. Dacă procesul tranzitoriu, provocat de o astfel de conectare a corectorului și observat pe aparatele generatorului, este periodic și oscilatoriu însă cu o amortizare rapidă, rezerva de stabilitate este mare. Dacă procesul tranzitoriu este oscilatoriu însă cu o amortizare lentă, rezerva de stabilitate este mică. În acest caz corectorul trebuie deconectat și stabilitatea lui trebuie mărită prin eliminarea oscilațiilor neamortizate (§ 2.2.3).

Conectarea corectorului. Se recomandă a se conecta corectorul după legarea generatorului în paralel cu rețeaua și după încărcarea acestuia. Se admite de asemenea conectarea corectorului înainte de legarea în paralel și de încărcare, cu condiția ca stabilitatea reglării la mersul în gol să fie asigurată (se efectuează verificarea în modul indicat mai sus, în ce privește punerea la punct a corectorului).

La conectarea corectorului, reostatul R_2 de reglare a acestuia trebuie să fie pus în poziția corespunzătoare curentului minim al corectorului, la tensiunea respectivă a generatorului în momentul conectării. În poziția corectă a reostatului de reglare al corectorului, curentul acestuia la tensiunea indicată nu trebuie să fie mai mare decît 0,4—0,6 A.

După conectarea corectorului, reostatul derivație R al excitației, se așază în poziția corespunzătoare excitației excitatoarei la funcționarea cu corector și totodată se mărește curentul de la 0,8—1,2 A pînă la 4 A (trebuie să existe un semn). Valoarea mai mică a curentului corectorului corespunde mersului în gol al generatorului, iar cea mai mare corespunde sarcinii nominale.

În scopul evitării supraîncărcării corectorului și transformatoarelor de tensiune care-l alimentează, nu trebuie admisă o sarcină de lungă durată mai mare decît 0,4—0,6 A.

În cazul în care curentul corectorului depășește valoarea de 4 A trebuie scos din circuit (în sensul măririi rezistenței) reostatul derivație al excitatoarei R sau trebuie introdus reostatul de reglare a compundării R_3, pînă cînd curentul corectorului scade la valoarea admisibilă de lungă durată. În cazul forțării excitației pentru scurt timp, curentul corectorului nu este limitat.

Funcționarea cu un curent de ieșire al corectorului sub 0,8 A nu este permisă, fiindcă în acest caz scade rezerva capacității de reglare a corectorului în ce privește reducerea tensiunii iar în cazul micșorării curentului în continuare corectorul poate să ajungă într-un regim inadmisibil în exploatare.

În cazul în care curentul corectorului este mai mic decît 0,8 A trebuie introdus în circuit reostatul derivație R al excitatoarei sau trebuie scos reostatul R_3 de reglare al compundării pînă cînd curentul corectorului crește la valoarea minimă indicată.

Schema corectorului prevede funcționarea lui cu instalația de compundare conectată.

Regimul corectorului se controlează cu ampermetrul A_2 conectat în circuitul curentului redresat. Caracteristica tip a corectorului de tensiune este reprezentată în fig. 2.9. Se observă că porțiunea de lucru a caracteristicii este cuprinsă între punctul corespunzător mersului în gol și punctul corespunzător regimului normal de sarcină. Caracteristica corespunde următoarelor condiții:

— Rezistența de sarcină la ieșirea corectorului, care înlocuiește înfășurarea suplimentară de excitație este de 15 Ω.

— Întrefierul bobinelor de șoc liniare sînt reglate astfel încît la tensiunea între faze de 200 V și dacă partea reglabilă a lui R_2 corespunzătoare circuitului înfășurării de comandă alimentată de

la elementul linear (prin S_3) este adusă la zero, curentul de ieșire al corectorului să fie minim (0,4—0,6 A). Dacă caracteristica efectivă ridicată la punerea în funcțiune a regulatorului este deplasată spre stînga, pentru deplasarea ei spre dreapta este necesar să se mărească întrefierurile bobinelor de șoc liniare. Totodată este de dorit să fie respectată repartizarea uniformă a curenților pe fazele elementelor liniare. Dacă pe baza condițiilor de exploatare este necesară deplasarea caracteristicii spre stînga, aceasta se realizează prin mărirea rezistenței părții reglabile a reostatului R_2 de reglare al corectorului.

— Rezistența R_4 din circuitul redresorului de blocare S_4 este aleasă astfel încît, la 110% din tensiunea corespunzătoare curentului minim de ieșire al corectorului și pentru o poziție anumită a reostatului R_2, în porțiunea neutilizată a caracteristici (partea din dreapta-jos) curentul de ieșire să nu depășească 1,3 A (pentru reglarea rezistenței din circuitul redresorului S_4 (v. § 2.2.2).

Deconectarea corectorului. Rezistența reostatului derivație R al excitatoarei trebuie micșorată lent iar poziția reostatului R_2 de reglare a corectorului trebuie modificată în sensul micșorării rezistenței, pînă în poziția în care curentul corectorului atinge valoarea lui minimă. la tensiunea respectivă.

Deconectarea corectorului în caz de avarie. În acest caz corectorul trebuie deconectat imediat de la generator, fără aducerea reostatului R_2 de reglare a corectorului în poziția corespunzătoare curentului minim. După deconecta-

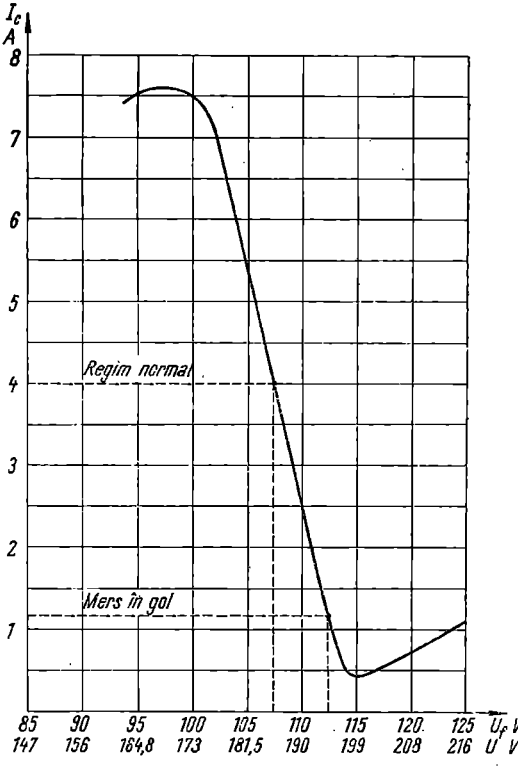


Fig. 2.9. Caracteristica tip a corectorului de tensiune.

rea corectorului, tensiunea generatorului trebuie reglată cu ajutorul reostatului derivație R al excitatoarei.

Simptome de avariere ale corectorului. Aceasta sînt:

— dispariția curentului corectorului, cînd la bornele generatorului există tensiune;

— creșterea curentului corectorului peste valoarea normală, la tensiunea nominală a generatorului;

— încălzirea excesivă a elementelor corectorului;

— creșterea curentului corectorului, concomitent cu creșterea tensiunii generatorului (un astfel de fenomen poate fi provocat nu numai de avarierea corectorului ci și de un regim anormal de funcționare al acestuia, și anume cu un curent de ieșire sub 0,8 A.

2.2.2. Fenomene anormale la conectarea corectorului și metode de înlăturare a acestora

a. La conectarea corectorului, tensiunea generatorului crește și rămîne ridicată; în acest caz:

— se introduce repede reostatul derivație R al excitatoarei după conectarea corectorului, sau se mută acesta dintr-odată în poziția calculată, corespunzător funcționării generatorului cu corector;

— se micșorează panta caracteristicii corectorului în domeniul tensiunilor ridicate, prin mărirea numărului de spire ale înfășurării de reacție a amplificatorului magnetic (cu ajutorul bornelor suplimentare existente), sau prin mărirea rezistenței reostatului de șuntare și prin micșorarea rezistenței R_4 a redresorului de blocare S_4.

In cazul aplicării acestor metode trebuie avut în vedere faptul că mărirea numărului de spire ale înfășurării de reacție mărește panta în porțiunea de lucru a caracteristicii, iar micșorarea rezistenței redresorului de blocare o micșorează.

Dacă rezistența circuitului redresorului de blocare va fi mai mică decît o anumită valoare critică, curentul de ieșire al corectorului crește prin modificarea tensiunii și nu poate fi redus la valoarea lui nominală. De aceea, micșorarea rezistenței redresorului de blocare pentru obținerea caracteristicii necesare a corectorului trebuie realizată prin deconectarea corectorului de la excitatoare și conectarea lui pe reostatul echivalent.

b. Reglarea este instabilă, apar oscilații neamortizate; în acest caz se micșorează panta porțiunii de lucru a caracteristicii corectorului:

— micșorîndu-se numărul de spire ale înfășurării de reacție a amplificatorului magnetic sau micșorîndu-se rezistența reostatului de șuntare al înfășurării de reacție;

— micșorîndu-se rezistența redresorului de blocare (v. mai sus rezistența critică în circuitul redresorului de blocare);

— șuntîndu-se înfășurarea excitației excitatoarei, la care se conectează corectorul și totodată nepermițîndu-se supraîncărcarea corectorului și a transformatoarelor de tensiune;

— mărindu-se rezistența reostatului derivație R.

c. Sarcina transformatoarelor de tensiune este mai mare decît cea admisibilă, în unele regimuri de exploatare (factorul de putere mic sau tensiunea mare a generatorului); în acest caz:

— se micșorează rezistența reostatului derivație R, verificîndu-se dacă în acest caz nu este deranjată stabilitatea reglării la mersul în gol al generatorului;

— se mărește rezistența reostatului R_2 de reglare a compundării.

Totodată trebuie avut în vedere că, la trecerea într-un regim de funcționare cu un factor de putere mare, ar putea fi necesară micșorarea rezistenței reostatului R_2 (dacă curentul corectorului devine mai mic decît cel admisibil).

2.2.3. **Conectarea reostatului de reglare a statismului**

La conectarea reostatului de reglare a statismului trebuie să se acorde o atenție deosebită ordinei fazelor, verificîndu-se aceasta nu numai după marcaj, ci și prin alte metode (cu ajutorul indicatorului de succesiune a fazelor etc.). O greșală în succesiunea fazelor conduce la alimentarea corectorului cu tensiuni de secvență inversă și reglare nu mai este corespunzătoare.

Valoarea absolută a variației statismului se reglează cu ajutorul rezistenței de reglare R_1.

2.2.4. **Reglarea instalației de forțare a excitației prin relee**

Circuitele se verifică și releele minimale de tensiune se reglează în conformitate cu cele indicate în cap. 3.4 și 4.5.

2.2.5. **Reglarea manuală a excitației generatorului**

În cazul funcționării concomitente a compundării și a corectorului de tensiune, reglarea manuală a excitației generatorului se efectuează în mod obișnuit cu ajutorul reostatului R_2 de reglare a corectorului.

3. APARATAJUL FOLOSIT PENTRU VERIFICAREA INSTALAȚIILOR DE PROTECȚIE ȘI AUTOMATIZARE

3.1. Generalități

Înainte de punerea în funcțiune și în timpul exploatării instalațiilor de protecție și automatizare, trebuie verificate și reglate diferite mărimi electrice. Pentru aceasta este necesar să se realizeze condiții similare defectelor care apar în sistemele energetice și să se măsoare parametrii lor.

Cele mai des folosite în practica acestor verificări sînt variațiile de curent și de tensiune, care imită în general suprasarcinile și scăderile de tensiune, sau variațiile impedanței, atunci cînd acestea sînt combinate. În consecință, este necesar să se determine prin măsurare limitele variațiilor curentului, tensiunii, defazajului, timpului în care se petrec anumite modificări în schemă cum și alte mărimi.

În cele ce urmează, vom descrie sumar principalele aparate de măsurat, dispozitive de încercare și de control, indicatoare speciale etc., folosite în acest domeniu. Vom da întîietate aparatajului construit în țară și celui întîlnit mai des în practica laboratoarelor care răspund de buna funcționare a instalațiilor de protecție prin relee și automatizare din sistemul nostru energetic.

3.2. Aparate de măsurat folosite pentru verificarea instalațiilor de protecție și automatizare

Aparatele de măsurat cele mai folosite pentru verificarea, punerea la punct și stabilirea reglajelor definitive ale elementelor de protecție prin relee și de automatizare din sistemele energetice, sînt cele portative. Întrucît pentru reglarea și punerea la punct a acestor elemente nu se cere o precizie mărită, în majoritatea cazurilor se utilizează aparate cu clasa de precizie 0,5; 1; 1,5 și chiar mai mult, care sînt satisfăcătoare pentru probele necesare unor concluzii corespunzătoare. În afară de aceasta,

aparatele de măsurat cu clase de precizie ridicate (etaloane din clasele 0,2 sau 0,5) au un consum propriu mare, deci necesită surse de alimentare puternice. Folosite în anumite condiții, etaloanele cu consum mare pot duce la măsurări eronate, de exemplu, în cazul măsurării căderilor de tensiune, în montaje cu rezistențe proprii, comparabile cu cele ale aparatului de măsurat. Aparatele etalon au și marele dezavantaj că nu sînt transportabile.

3.2.1. Aparate de măsurat universale

O largă utilizare o au aparatele de măsurat universale de diferite tipuri, pentru curent continuu și alternativ. Acestea permit măsurarea tensiunii sau a curentului electric între limite largi și cu precizie destul de mare (1% în curent continuu și 1,5% în curent alternativ). Limitele de măsurare sînt cuprinse între 0,2 V în curent alternativ sau 60 mV în curent continuu și 600 V respectiv între 0,2 mA și 6 A. Limitele de măsurare se pot extinde dacă se folosesc transformatoare de măsură, șunturi sau rezistențe adiționale. Rezistența interioară a aparatelor universale folosite în laboratoare este cuprinsă între 330 și 1 000 Ω/V pe partea de curent alternativ și între 1 000 și 20 000 Ω/V pe partea de curent continuu. Faptul că au domeniile de măsură mari, că nu

Tabela 3.1

Tipul	Limitele de frecvență Hz	Limitele de măsurare	Diviziuni pe scală	Rezistența interioară Ω/V
U 315	45—1 000	2,5/10/25/100/250/500/1 000 V ≈ 2,5/10/25/100/250/1 000/5 000 mA ≈	50	≈1 000
AVOMET*)	20— 500	1,2/6/12/30/60/120/300/600 V ≈ 1,2/3/12/30/120/300/1 200/6 000 mA ≈	60	≈1 000
EAW	16—10 000	1,5/6/15/30/150/300/600 V 1,5/6/30/150/600/1 500/6 000 mA	30	—20 000 ~ 1 000
R.F.T.	20— 500	1,5/6/30/150/300/600 V≈ 3/15/60/300/1 500/6 000 mA≈	30	—1 000 ~ 333

*) Noile aparate au caracteristici superioare și au inclus în același aparat posibilitatea de măsură a rezistențelor.

sînt influențate de variația frecvenței între limite largi (16—10 000 Hz) și au greutatea mică, face ca aceste aparate să fie nelipsite din trusa oricărei echipe de verificare a releelor.

În tabela 3.1 sînt indicate principalele caracteristici tehnice ale unor tipuri de aparate universale mult utilizate în țara noastră. Din tabelă se poate observa că cel mai convenabil este tipul AVOMET, deoarece are scala de 60 V care este cea mai folosită în practica măsurărilor din acest domeniu. În plus aproape toate mărimile se pot măsura pe două scale diferite. De exemplu, tensiunea de 50 V se poate măsura pe scala de 60 V și pe cea de 120 V. Acest fapt dă posibilitatea unui control permanent asupra stării aparatului, chiar în timpul măsurărilor. Caracterul scalii, diviziunile imprimate și coeficienții de multiplicare, judicios stabilite ușurează destul de mult calculele și citirea valorilor măsurate. De asemenea, ca și alte tipuri de aparate, acesta permite folosirea unor montaje speciale, care fac posibilă măsurarea curentului și a tensiunii fără a mai fi nevoie de schimbarea conexiunilor, ci numai prin manevrarea comutatoarelor respective (fig. 3.1). Un alt avantaj important este și acela că se trece de la valori mari spre valori mici, ceea ce ferește aparatul de posibilitatea distrugerii cînd se fac erori de manevrare de la măsurarea curentului la măsurarea tensiunii și invers. Acest lucru nu este posibil la aparatul RFT, care are numai două borne de racordare, iar trecerea comutatorului de la măsurare tensiunii la măsurarea curentului se face prin întreruperea curentului și schimbarea montajului.

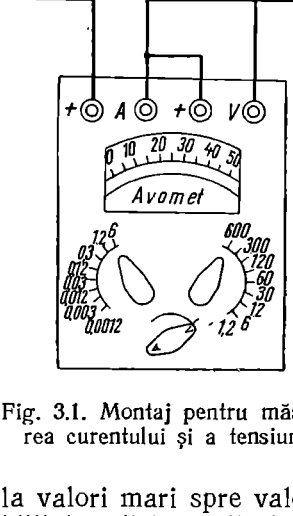


Fig. 3.1. Montaj pentru măsurarea curentului și a tensiunii.

Aparatul EAW are, în afara rezistenței interioare mari, și un grad de amortizare a acului indicator destul de ridicat, fapt care îl face să nu înregistreze fidel toate variațiile de scurtă durată ale mărimilor măsurate.

Principiul de construcție a sistemului mobil la tipul EAW (cadrul mobil fiind suspendat) face ca aparatul să poată fi folosit numai în poziție orizontală. Datorită acestei particularități, nu este recomandat a se transporta aparatele decît după ce se iau mă-

suri speciale împotriva șocurilor. Aparatul are un sistem de blocare mecanic, care nu permite comutarea pe diferite scale, decît după ce se întrerupe sau se șuntează circuitul măsurat.

3.2.2. Aparate pentru măsurarea curentului

În domeniul verificărilor instalațiilor de protecție și automatizare trebuie măsurați curenți continui și alternativi de cele mai diferite valori, de la miliamperi și pînă la mii de amperi. De asemenea, condițiile ce se impun în multe cazuri sînt destul de grele, astfel încît aparatele de măsurat obișnuite nu sînt întotdeauna capabile să le satisfacă. De exemplu, la măsurarea curentului de dezechilibru din circuitul de diferență al protecției diferențiale sau a curentului de dezechilibru al filtrului de secvență homopolară, în funcționarea normală a instalației este necesară determinarea unui curent de ordinul zecilor de miliamperi, fără să se introducă în circuitul respectiv o rezistență mai mare de cîțiva ohmi. Acest lucru este destul de greu de realizat cu aparatele de măsurat obișnuite. În acest caz, se fac montaje speciale și se folosesc aparate speciale, care să nu falsifice măsurările.

Exceptînd cazul amintit mai sus și alte cîteva mai speciale, în marea majoritate a lucrărilor de verificare a instalațiilor de protecție și de automatizare este necesar să se măsoare curenții de acționare și de revenire ai releelor maximale sau minimale de curent ai releelor intermediare etc., curenți care pot avea valori foarte diferite.

În funcție de parametrii nominali ai releului care se încearcă, se alege aparatul de măsurat corespunzător. De exemplu, pentru releele intermediare ale protecțiilor de distanță, care funcționează la valori de ordinul zecilor de miliamperi se alege un miliampermetru, iar pentru releele protecțiilor maximale de curent, ale căror valori de acționare sînt de 5÷10 A, se alege un ampermetru corespunzător.

Sînt cazuri în care trebuie măsurați curenți de ordinul sutelor și miilor de amperi (ca în cazul verificării transformatoarelor de măsură), ceea ce nu este posibil cu aparate directe. În acest caz, pentru curent alternativ se folosesc transformatoare de măsură etalon speciale, iar pentru curent continuu se folosesc șunturi, care permit măsurări precise și la valori oricît de mari. În practica laboratoarelor din țara noastră se folosesc aparate de măsurat de 5 A de diferite tipuri (METRA, IRME etc.) cu transformatoare de măsură cu raport variabil.

Transformatoarele de măsură sînt foarte bune numai în cazurile cînd sursele de încercare sînt destul de puternice, întrucît pot

introduce erori datorite consumului propriu destul de important. Pentru a se evita dezavantajul semnalat, se folosesc ampermetre directe cu scală peste 5 A și clasă de precizie mai mică (1,5—2,5), care însă nu se construiesc pentru valori mai mari de 100 A (tipul METRA și altele).

3.2.3. Aparate pentru măsurarea tensiunii

Măsurarea tensiunii pune uneori probleme dificile în tehnica protecției prin relee. De exemplu, rezistența interioară a aparatului de măsurat este factorul cel mai important care condiționează întotdeauna corectitudinea măsurării, pentru unele cazuri mai speciale.

Dacă dorim să măsurăm valoarea tensiunii pe fază a unui sistem trifazat, simetric, de rezistențe sau impedanțe, necesar pentru realizarea unui punct neutru artificial, trebuie să ținem seama că un aparat de măsurat cu rezistența interioară comparabilă cu acea a sistemului, va introduce erori mari în rezultatele obținute. Pentru evitarea acestui neajuns, este absolut necesară folosirea unui aparat de măsurat cu rezistență interioară peste 1 000 Ω/V și cu domeniul de măsurare cel mai mare. Din practică se cunoaște că folosirea chiar a aparatelor cu 300 Ω/V (cum sînt tipurile vechi de AVOMET și altele) duce la erori grosolane (deplasează punctul neutru artificial și deci modifică valorile reale ale tensiunilor pe fază).

La fel se întîmplă și în cazul măsurării tensiunilor de dezechilibru la bornele rezistențelor sau impedanțelor alimentate de la surse slabe, cum se poate întîlni la organele de măsură ale protecțiilor de distanță, la releele diferențiale care folosesc transformatoare cu saturație rapidă etc. In toate aceste cazuri se folosesc voltmetre speciale, cu rezistență interioară mare, magnetoelectrice sau electronice, care deși în unele cazuri au precizie mai mică satisfac condițiile impuse mai sus.

In afara măsurării tensiunilor electromotoare și a variației acestora, voltmetrele, în special cele magnetoelectrice, determină polul pozitiv sau negativ al surselor electrice, lucru de mare importanță în tehnica protecției prin relee și a automatizărilor. Gama de folosire a voltmetrelor pentru măsurarea tensiunii este destul de largă și merge în curent alternativ de la valori de ordinul milivoltilor pînă la zeci și chiar sute de volți, iar în curent continuu de la milivolți pînă la sute de volți.

Pentru extinderea zonelor de folosire a aparatelor obișnuite pînă la cel mult 600 V se folosesc metodele clasice, cu rezistențe adiționale; la valori mai mari, se folosesc pentru curent alternativ

transformatoare de măsură sau divizoare capacitive, iar pentru curent continuu rezistențe.

În măsurările necesare pentru determinarea tensiunilor, în marea majoritate a cazurilor clasa de precizie de 1,5—2,5 este satisfăcătoare.

3.2.4. Aparate sau metode pentru măsurarea unghiului

În domeniul protecției prin relee și al automatizărilor, se întîlnește destul de des necesitatea de a se măsura unghiul dintre curent și tensiune, dintre doi sau mai mulți curenți și dintre două sau mai multe tensiuni. Metoda de măsurare se alege în funcție de mărimile al căror unghi de defazaj trebuie determinat.

Măsurarea cu ajutorul wattmetrului. Se folosește pentru determinarea unghiului de defazaj φ dintre curentul și tensiunea unui circuit, folosindu-se relația $\cos\varphi=\frac{P}{S}$, unde P este puterea activă, iar S — puterea aparentă.

Pentru măsurarea puterii active se folosește cel mai adesea un wattmetru electrodinamic, de regulă portativ, cu clasa de precizie 0,5 și cu mai multe game de măsurare pentru curent și tensiune. Este cunoscut că expresia matematică a puterii active măsurate de un wattmetru în montaj obișnuit este

$$P=UI\cos\varphi, \tag{3.1}$$

în care: U este tensiunea eficace aplicată circuitului;
I — curentul eficace care trece prin wattmetru;
$\cos\varphi$ — factorul de putere al circuitului măsurat.

Puterea aparentă se determină cu ajutorul unui ampermetru și al unui voltmetru, legați în același circuit cu wattmetrul și citiți simultan cu acesta. Cunoscîndu-se că puterea aparentă se exprimă prin relația

$$S=U\cdot I, \tag{3.2}$$

în care U și I sînt aceleași ca mai sus, rezultă că factorul de putere se calculează cu raportul

$$\cos\varphi=\frac{P}{UI}=\frac{P}{S}, \tag{3.3}$$

iar unghiul φ se poate determina din tabele sau cu ajutorul riglei de calcul, atunci cînd precizia respectivă este suficientă.

Cu toate că indicațiile wattmetrului depind de sensul energiei (lucru de care se ține seama la racordarea circuitelor de la bornele sale polarizate), totuși unghiul determinat prin această metodă nu este precizat complet printr-o singură măsurare.

Aceasta se poate vedea imediat din exemplul reprezentat în diagrama din fig. 3.2, în care s-a luat ca axă de referință vectorul tensiunii. Wattmetrul indică aceeași putere activă, atît pentru curentul $\bar{I}$ defazat cu unghiul φ față de tensiune, cît și pentru curentul $\bar{I}'$ defazat înainte față de tensiune cu unghiul $\varphi' = 360 - \varphi$.

Măsurarea cu ajutorul diagramei wattmetrice. Pentru determinarea precisă a unghiului este necesară încă o măsurare cu wattmetrul, folosind alt vector de curent sau tensiune. Dacă se cunosc elementele componente ale circuitului — (inductanță sau capacitate) — problema este mai ușor de rezolvat. În cazul cînd nu se cunosc alte date despre circuitul respectiv, se determină vectorul de curent prin repetarea măsurărilor cu wattmetrul, luîndu-se ca referință, succesiv, toate cele trei tensiuni ale unui sistem, trifazat simetric.

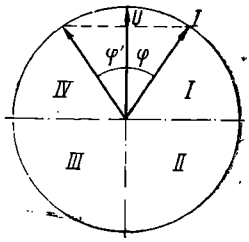


Fig. 3.2. Variația cosinusului în cadranele I și IV.

Matematic, în acest caz problema se reduce la determinarea unui punct în planul sistemului de vectori format din cele trei tensiuni pe faze sau între faze ale sistemului trifazat alternativ, care sînt dispuse simetric la cîte 120° una față de alta și într-o anumită succesiune. Punctul căutat este vîrful vectorului de curent a cărui origină coincide cu origina vectorilor de tensiune. Această operație mai este aplicată și pentru determinarea vectorului de curent sau de tensiune, determinare foarte necesară pentru aprecierea corectitudinii montării protecției diferențiale a transformatoarelor sau a generatoarelor, a protecției direcționale de putere, a releelor de control al sincronismului etc.

În mod practic, poziția unui vector de curent cu ajutorul diagramei vectoriale se determină în modul următor:

— se verifică simetria sistemului de tensiuni adoptat ca sistem de referință, cu ajutorul voltmetrului, prin măsurări complete ale tuturor tensiunilor (între faze și pe fază); rezultatul trebuie să fie concludent, adică tensiunile între faze să formeze un triunghi echilateral, iar tensiunile pe fază o stea simetrică;

— se determină secvența sistemului de tensiuni, cu ajutorul unui indicator de sens al cîmpului învîrtitor, și se notează dacă este directă sau inversă;

— se fac măsurări de putere cu ajutorul unui wattmetru și se notează puterile, corespunzătoare curentului care se determină cu fiecare din tensiunile sistemului de referință adoptat;

— se verifică dacă sursa de curent este aceeași cu sursa de tensiune adoptată ca sistem de referință (dacă au aceeași frecvență).

In acest scop se alimentează înfășurarea de curent a wattmetrului cu curentul pe care dorim să-l determinăm (fig. 3.3). O atenție deosebită trebuie acordată polarității tuturor mărimilor măsurate cu wattmetrul. Se aplică la bornele de tensiune ale watt-

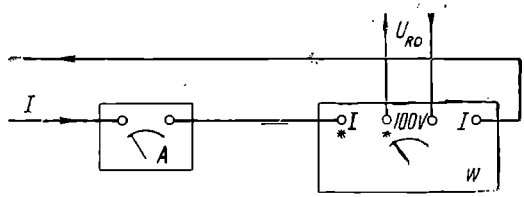


Fig. 3.3. Montarea wattmetrului și ampermetrului pentru ridicarea diagramei wattmetrice.

metrului tensiunea U_{RO}, de la sistemul simetric de referință ales, astfel ca borna polarizată a wattmetrului să se conecteze cu polul R și cea nepolarizată cu polul O al sistemului de tensiune. Se consemnează indicațiile wattmetrului în această situație, ținîndu-se seama în special de semnul indicațiilor.

După această operație se lasă circuitul de curent în aceeași situație, iar circuitului de tensiune al wattmetrului i se aplică tensiunea U_{SO} a aceluiași sistem de tensiune. Se respectă aceleași convenții ca mai sus, adică borna polarizată a wattmetrului se atinge cu polul S, iar cealaltă cu polul O. Se consemnează indicațiile wattmetrului și pentru această situație, ținîndu-se seama de semnul lor. Precizăm că măsurările realizate mai sus sînt suficiente pentru determinarea poziției vectorului de curent menționat; totuși, pentru verificarea operațiilor efectuate se vor consemna și indicațiile wattmetrului, pentru cazul alimentării înfășurării de tensiune a acestuia cu tensiunea U_{TO} în același mod ca mai sus. In mod practic această măsurare verifică imediat pe celelalte două, dacă suma algebrică a celor trei indicații wattmetrice este nulă ($P_R+P_S+P_T=0$).

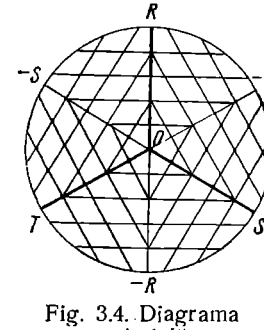


Fig. 3.4. Diagrama vectorială.
a — tabel;
b — diagramă;

Datele obținute se notează într-un formular special sau într-o tabelă. Cu datele obținute după indicațiile de mai

sus se determină grafic poziția vectorului de curent căutat. Prelucrarea acestor date se efectuează mai comod pe o diagramă de forma celei din fig. 3.4.

In acest scop se notează indicația wattmetrului din prima măsurare, care în fond reprezintă proiecția puterii pe axa U_{RO}, și se prezintă (într-o scară convenabilă pentru toate măsurările) pe dreapta determinată de tensiunea U_{RO}, pornindu-se de la origine (centrul diagramei) spre R pentru valorile pozitive și spre $-R$ pentru valorile negative. De la capătul determinat în acest fel se ridică o perpendiculară pe axa tensiunii respective. Vîrful vectorului de curent se va găsi pe această perpendiculară, însă din considerentele indicate mai sus (v. fig. 3.2 și explicația) nu i se cunoaște încă locul. Se procedează identic cu indicațiile obținute la măsurarea a doua, obținîndu-se pe axa tensiunii corespunzătoare de data aceasta, U_{SO} punctul din care se ridică o a doua perpendiculară pe axa tensiunii U_{SO}, pe care se va găsi vîrful vectorului de curent. Punctul în care se intersectează cele două perpendiculare este vîrful vectorului de curent care a trebuit determinat.

Pentru verificarea măsurărilor efectuate, se procedează identic și cu indicațiile wattmetrului la a treia măsurare (cu tensiunea U_{TO}); în acest caz dreapta ridicată perpendicular pe axa U_{TO}, din punctul determinat, trebuie să treacă prin vîrful aceluiași vector de curent.

Pentru exemplificare, considerăm cazul cînd wattmetrul indică $P_R=30$; $P_S=10$ și $P_T=-40$ diviziuni (suma lor este nulă). Se trasează pe axa RO cele 30 diviziuni pozitive și se ridică o perpendiculară din acest punct; se trasează pe axa SO cele 10 diviziuni pozitive și se ridică din acest punct o perpendiculară. Locul de întîlnire este vîrful vectorului I (fig. 3.5). Pentru verificare, pe axa TO se trasează cele 40 diviziuni negative (atenție la semn) și se ridică din acest punct o perpendiculară. Se observă că toate perpendicularele se intersectează în același punct, care este vîrful vectorului de curent I, defazat inductiv cu $30°\div60°$ față de U_{RO}.

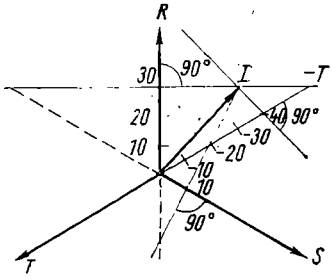


Fig. 3.5. Exemplu de trasare a diagramei vectoriale

După cum se vede prin această metodă se poate determina grafic poziția vectorială a oricărui curent, față de tensiunile sistemului de referință ales. Precizia acestei metode depinde de mulți factori, printre cei mai importanți fiind variația para-

metrilor măsurați în timpul determinărilor respective, erorile aparatelor de măsurat și erorile construcției grafice. Erorile introduse datorită cauzelor menționate nu sînt atît de mari încît să pună la îndoială concluziile trase. În cele mai multe cazuri, aceste erori conduc la faptul că dreapta obținută la a treia măsurare (necesară verificării) nu mai intersectează pe primele două în același punct de intersecție a perpendicularelor determinate de indicațiile wattmetrelor, ci punctele se găsesc în vîrfurile unui triunghi a cărui suprafață este cu atît mai mică cu cît eroarea este mai mică.

Tot astfel se poate determina poziția vectorială a unei tensiuni, folosindu-se drept referință un sistem simetric de curenți trifazați.

Măsurarea cu ajutorul diagramei tensiunilor. Unghiul dintre două tensiuni este în general mai ușor de determinat dacă circuitele respective sînt legate galvanic între ele. Acesta este cazul circuitelor de măsură a tensiunilor cu ajutorul transformatoarelor de măsură, cînd valorile secundare ale diferitelor sisteme sînt legate galvanic între ele (legate la pămînt).

În astfel de cazuri, unghiul se determină cu suficientă precizie printr-o construcție grafică sau printr-o metodă analitică, folosindu-se măsurări cu voltmetru.

Metoda grafică este cea mai simplă și constă în reprezentarea valorilor obținute prin măsurări cu voltmetrul. Pentru aceasta, se măsoară cu voltmetrul tensiunile necesare construirii unui triunghi căruia i se determină unghiul care interesează, cu raportorul sau în alt mod.

Metoda analitică este mai mult utilizată și constă în folosirea formulei lui Pitagora generalizate

$$a^2=b^2+c^2-2bc\cos A, \qquad (3.4)$$

unde laturile triunghiului reprezintă tensiunile între faze, obținute prin măsurări cu voltmetrul. Unghiul, care este singura necunoscută din ecuație, se determină prin metodele obișnuite.

Cele mai frecvente erori care se pot introduce în cazurile expuse mai sus sînt cele legate de folosirea aparatelor de măsurat și în special a voltmetrului. Este de dorit folosirea aparatelor cu rezistență interioară mare.

În cazul cînd trebuie să se măsoare unghiul dintre două tensiuni care nu sînt legate galvanic între ele și nici nu se poate realiza această legătură, problema este greu de rezolvat prin metodele expuse mai sus. În acest caz se folosesc alte metode mai

speciale, una dintre ele, cu care putem rezolva această problemă fiind metoda cu ajutorul decalometrului de compensație (construit în țara noastră).

Măsurarea cu ajutorul decalometrului (fig. 3.6). Decalometrul de compensație cuprinde un grup de trei autotransformatoare

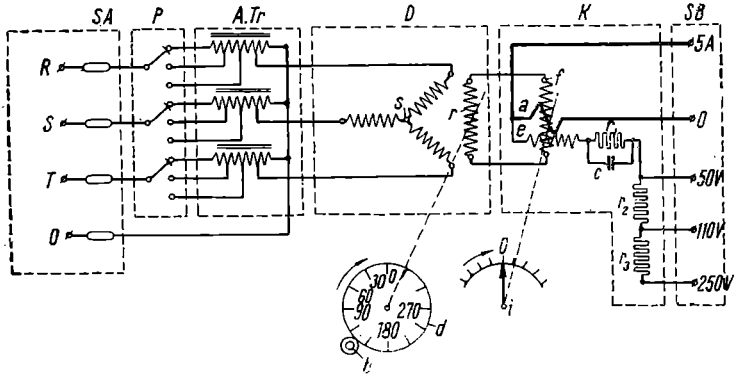


Fig. 3.6. Schema de principiu a decalometrului.

monofazate ATr, de 380/220/110/$\sqrt{3}$ V, care printr-un comutator *P* asigură alimentarea aparatului de la orice rețea trifazată existentă în instalațiile de joasă tensiune sau în laboratoarele electrice.

Decalorul monofazat *D* este realizat cu ajutorul unui selsin. Pe axul acestuia este montat un disc *d*, gradat de la *0* la *360°*, care în mod obișnuit este blocat de un buton *b*.

Organul de măsurare se compune dintr-un contor monofazat *k* modificat. Principalele modificări ale contorului sînt: înfășurarea de curent a contorului este înlocuită prin două înfășurări, una de tensiune *e* și una de curent *a*. Un resort spiral realizează cuplul rezistent. Pe același ax cu discul contorului este fixat un ac indicator *i*, care se poate deplasa în jurul poziției *0* de pe un cadran. In circuitul de tensiune al organului de măsurare *e* este înseriat un condensator *c*, iar în paralel cu el o rezistență r_1. Condensatorul aduce curentul bobinei de tensiune, în fază cu tensiunea aplicată. Organul de măsurare poate fi conectat la tensiunile de 50, 110 și 250 V sau la un curent de 5 A.

Alimentîndu-se statorul *S* al decalorului cu un sistem trifazat de tensiuni alternative se obține în rotorul *r* o tensiune constantă ca valoare și variabilă ca fază. Această tensiune se aplică înfășurării de tensiune *f* a organului de măsurare. La una dintre celelalte

înfășurări ale acestuia se leagă, ținînd seama de valorile nominale ale acesteia, curentul sau tensiunea a cărui unghi de defazaj trebuie determinat.

În comparație cu alte aparate destinate pentru măsurarea defazajului dintre două mărimi electrice, acesta prezintă avantajul că poate măsura defazajul între două mărimi electrice, indiferent de natura lor (curent sau tensiune). El nu are precizia cosfimetrelor de laborator, însă aceasta nu este necesară, dat fiind scopul pentru care a fost construit.

Decalometrul de compensație este destinat pentru verificarea montării corecte a releelor direcționale și diferențiale și, în general, pentru măsurarea simplă și comodă a defazajului dintre doi vectori de curent sau de tensiune. Pentru folosirea decalometrului, se fixează comutatorul *P* la valoarea tensiunii trifazate existente a sursei de alimentare. Se alimentează aparatul prin bornele *RST*, respectîndu-se riguros sensul cîmpului învîrtitor (succesiune directă).

Dacă se apasă pe butonul de frînare *b* al discului decalorului, acesta trebuie să se rotească în sensul acelor ceasornicului. Dacă sensul de rotire este invers, se schimbă între ele două faze ale tensiunii de alimentare. Circuitul care se măsoară, se leagă la bornele *0—5* A dacă se cercetează un curent și la bornele *0—50* V, respectiv *110* sau *250* V, dacă se cercetează o tensiune. Se rotește discul decalorului *d* în sensul acelor de ceasornic, pînă cînd acul indicator începe să se rotească în același sens cu discul și ajunge la diviziunea *0*. Pentru mai multă precizie, în zona de coincidență a indicatoarelor se va roti butonul de frînare fără să se apese. Se citește pe discul *d* și se notează unghiul care corespunde poziției *0* a indicatorului organului de măsură. Se leagă la bornele respective a doua mărime de cercetat, după care se repetă operațiile anterioare. Diferența dintre cele două citiri reprezintă defazajul căutat.

Aparatul poate fi folosit și ca indicator de sens al cîmpului învîrtitor, prin legarea sistemului trifazat de cercetat la bornele de alimentare *RST*. Dacă la apăsarea pe butonul de frînare *b* discul se rotește în sensul acelor de ceasornic înseamnă că succesiunea fazelor legate la borne este directă; în caz contrar, sistemul este invers. Atunci cînd lipsește una dintre tensiuni, discul decalorului nu pornește iar aparatul prezintă vibrații anormale.

Metodele de determinare a unghiului descrise mai sus sînt destul de complicate, întrucît în afara măsurărilor necesită și o construcție grafică. Pentru micșorarea timpului de determinare, cum și pentru mărirea preciziei, se folosesc aparate cu citire directă a unghiului de defazaj (decalometre sau alte aparate).

Măsurarea cu ajutorul cosfimetrului sau al fazometrului. Un alt aparat folosit pentru măsurarea unghiului de defazaj este cosfimetrul de laborator sau fazometrul. Acest aparat oferă un grad de precizie mărit în comparație cu cele descrise mai sus, însă are dezavantajul că nu poate determina decît defazajul între curent și tensiune.

3.2.5. Aparate pentru măsurarea rezistenței

Rezistențele care trebuie măsurate pot fi ale conductoarelor, ale releelor, ale contactelor sau ale altor elemente din circuitele electrice, cum și ale izolației. În funcție de ordinul de mărime al rezistențelor ce trebuie măsurate, se va folosi metoda sau aparatul care va permite să se obțină rezultatele cele mai exacte. De exemplu, pentru rezistențele de contact sau alte rezistențe a căror valoare este sub 1 Ω, cea mai bună metodă de determinare este aceea a ampermetrului și voltmetrului sau folosirea aparatelor speciale. Metoda ampermetrului și voltmetrului este cea mai recomandată în special atunci cînd se poate alimenta circuitul care conține rezistențe cu curenți mari (de ordinul sutelor sau al zecilor de amperi) și există aparate corespunzătoare pentru aceasta.

În practica obișnuită a laboratoarelor electrice sau a echipelor de teren, se folosesc mult punțile portative tip OMEGA III (fabricație METRA), care permit măsurări cu o precizie de $\pm 3\%$, între 0,0001 și 20 Ω. Pentru rezistențe de valori foarte mici, erorile introduse de cordoanele de legătură devin atît de importante încît este absolut necesar să se țină seama de acestea. Pentru valori medii ale rezistențelor se folosesc în practică punți simple (Wheatstone). Punțile portative de tipul OMEGA I (fabricație METRA) sau de tipul R 333 (fabricate în U.R.S.S.) sînt cele mai des întîlnite în laboratoarele electrice din țară. Aceste tipuri, cum și altele asemănătoare, sînt comod de manevrat, ușor de transportat și asigură în general determinarea valorilor cuprinse între 0,5 și 50.000 Ω sau mai mult, cu o precizie satisfăcătoare (sub 2%). Sursa de energie necesară alimentării acestor aparate este formată din baterii uscate.

Pentru valori medii și măsurări orientative ale rezistențelor, se mai folosesc și ohmmetre de diferite tipuri, cu citire directă. Pentru valori mari ale rezistențelor (peste 100 000 Ω) așa cum sînt rezistențele de izolație, se folosesc aparate speciale de tip megohmmetru (numit în practică inductor).

Megohmmetrele folosite în acest domeniu se deosebesc în primul rînd după tensiunea de măsurare a rezistenței. Cele mai mult folosite în practică sînt cele cu tensiunile de 250 V, 500 V, 1 000 V

și 2 500 V. Principiul de funcționare al tuturor tipurilor de megohmmetre este același, ele deosebindu-se prin unele părți constructive și prin tensiunea nominală a aparatului.

În linii mari un megohmmetru este compus din două părți distincte și anume:

— partea care produce energia electrică necesară circuitului de măsurare respectiv; aceasta este un generator de curent continuu obișnuit, realizat cu ajutorul unui inductor cu manivelă compus dintr-un magnet permanent în cîmpul căruia se rotește un indus bobinat. Construcția indusului și a magnetului permanent diferă în funcție de tensiunea electrică;

— instrumentul de măsurare a curentului din circuitul măsurat; acesta este un logometru obișnuit pentru megohmmetrele de 250—1 000 V și unul special pentru cele de 2 500 V. Este folosit sistemul de măsurare logometric (cu două cadre mobile încrucișate) pentru a se micșora erorile cauzate de variația tensiunii aplicate acestui circuit. Variația este cauzată de faptul că generatorul de curent (inductorul cu manivelă) este rotit manual (cu circa 120 rot/min), deci nu are o turație riguros constantă.

Măsurarea impedanțelor, respectiv a inductanțelor sau a capacităților, se efectuează în mod obișnuit prin metoda ampermetrului și voltmetrului, la frecvența industrială, formulele de calcul fiind pentru inductanțe,

$$U = X_i \cdot I = L\omega \cdot I = L \cdot I \cdot 2 \cdot \pi \cdot f; \tag{3.5}$$

pentru capacități,

$$U = X_c I = \frac{I}{\omega C} = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \tag{3.6}$$

Atunci cînd se cere o precizie mărită sau cînd condițiile de determinare sînt mai speciale pentru determinarea acestor mărimi, se folosesc punți speciale, utilizate mai mult în domeniul electronicii.

3.2.6. Aparate pentru măsurarea frecvenței

Necesitatea de a se măsura frecvența curentului alternativ folosit în diferite scopuri (alimentarea releelor de descărcare automată a frecvenței DAS, de reanclanșare automată după frecvență RAS etc.) este evidentă. Pentru măsurarea frecvenței se folosesc aparate indicatoare de cîteva categorii; amintim pe cele mai larg utilizate.

Frecvențmetrul cu lamele vibratoare (așa-numitul „sistem rezonant"). Aparatul portativ tip M (fabricație EAW) are limitele de măsurare a frecvenței de la 45 la 55 Hz și alimentarea la 110—380 V. Consumul propriu mic (circa 4 mA) face ca aparatul să nu ridice probleme complicate la măsurare, chiar atunci cînd sursa nu este puternică.

Cel mai folosit în practica automatizărilor electrice este aparatul tip KLL (fabricație METRA), întrucît are limite largi atît la măsurare (40—60 Hz) cît și la alimentare (50—250 V). Acest lucru este important, întrucît la reglarea releelor de frecvență ale dispozitivelor de descărcare automată după frecvență este necesar să se stabilească funcționarea releelor respective la valori sub 45 Hz. Din acest motiv este indicat aparatul tip KLL, care are posibilitatea de a măsura frecvențe începînd de la 40 Hz, spre deosebire de celelalte tipuri care nu permit măsurători decît de la 45 Hz.

Frecvențmetrul cu ac indicator. Din această categorie, aparatul cu logometru este cel mai des întîlnit. Aceste aparate au o clasă de precizie de 3—4%, însă eroarea lor absolută se poate micșora prin îngustarea limitelor de măsurare. Astfel, un frecvențmetru cu limitele de 48—52 Hz, cu o scală de 4 Hz, are la o precizie de 4% o eroare absolută de 0,16 Hz, ceea ce pentru frecvența uzuală de 50 Hz reprezintă 0,32%. Avantajul mare care-l prezintă aceste aparate nu este numai precizia ridicată a măsurării, ci și faptul că acul indicator permite și citirea zecimilor de perioadă, lucru destul de dificil la aparatele cu lamele vibratoare. Datorită sistemului adoptat frecvențmetrul cu ac indicator este un aparat mai greu și mai dificil de transport decît cel cu lamele vibratoare; mai prezintă dezavantajele unui consum propriu mare și a faptului că nu se admit variații mai mari ale tensiunii sursei de alimentare.

3.2.7. **Aparate pentru măsurarea timpului**

Determinarea timpului de acționare al unei instalații sau al unui releu este un factor important pentru aprecierea justă a comportării acestuia în funcția pentru care a fost destinat. Limitele între care variază acest timp de acționare sînt foarte largi. Astfel, timpul propriu al unui releu ultrarapid este de cîteva milisecunde, iar timpul de acționare al unui releu termic este de cîteva minute. În funcție de elementul măsurat, se alege aparatul sau dispozitivul cel mai corespunzător. În continuare, vom descrie unele dintre cele mai uzuale aparate cu ajutorul cărora măsurăm timpul.

Cronometrul cu mecanisme de orologerie acționat de un resort, cu pornire și oprire comandată manual. Este așa-numitul cronometru de buzunar, folosit la etalonarea contoarelor electrice. Acesta are un domeniu larg de măsurare, (de la zecimi de secundă pînă la minute) cu o precizie satisfăcătoare. Dezavantajul principal al acestui tip de cronometru este acționarea manuală din care cauză aparatul nu se poate sincroniza perfect cu elementul măsurat. În afară de aceasta, aprecierea momentului de pornire sau de oprire este diferită de la un operator la altul și chiar la aceeași persoană nu este constantă. De aceea, erorile ce se pot introduce sînt destul de mari, mai ales atunci cînd se măsoară timpi de ordinul zecimilor de secundă sau mai mici. Rămîne indicat să se folosească aceste cronometre numai pentru măsurări orientative sau atunci cînd se măsoară timpi de ordinul zecilor de secunde sau al minutelor. Pentru aceste cazuri, croarea introdusă de cronometru nu mai influențează măsurările.

Cronometrul acționat cu motor sincron, cu pornire și oprire comandată electric. Tipul cel mai larg răspîndit în laboratoarele electrice de la noi din țară este cel construit de fabrica KRIŽIK (fig. 3.7). Cronometrul electric cuprinde:

— un motor sincron *M*, care poate fi alimentat cu tensiune alternativă de 110 V sau 220 V, la 50 Hz;

— o cuplă electromagnetică, *C*, care are rolul de a cupla un sistem de roți dințate cu axul motorului sincron; sistemul de roți dințate transmite mișcarea motorului sincron la două ace indicatoare, care deviază în fața a două cadrane, gradate unul în zecimi sau sutimi de secundă, iar celălalt în secunde. În general, cadranul mare este divizat în sutimi de secundă, tot cadranul avînd 100 diviziuni, adică *o* secundă; cadranul mic este divizat în secunde și cuprinde un domeniu de 20 s; sînt și unele tipuri care au un domeniu de la 0—200 s sau mai mult, dar acestea sînt mai rare în laboratoarele din țara noastră;

— un releu electromagnetic *R*, care poate întrerupe circuitul cuplei electromagnetice, deci poate opri în orice moment rotirea acelor indicatoare.

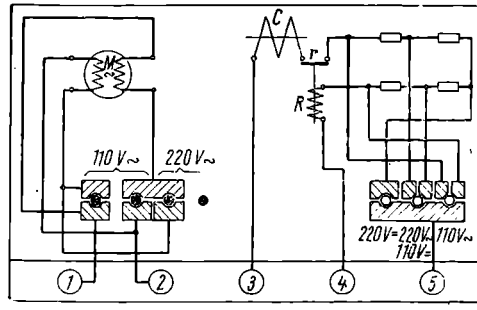


Fig. 3.7. Schema interioară a cronometrului KRIZIK.

După cum se poate vedea în figură, acest

cronometru sau secundometru electric măsoară timpul din momentul în care cupla electromagnetică se cuplează cu axul motorului sincron și pînă cînd circuitul cuplei se întrerupe. În tot acest interval motorul sincron se rotește cu viteza lui nominală. Timpul măsurat de acest cronometru se calculează prin însumarea indicațiilor celor două ace indicatoare.

Citirea se face direct atunci cînd sursa de alimentare respectă parametrii nominali ai cronometrului, adică frecvența curentului alternativ este de 50 Hz. În cazul cînd frecvența este alta, timpul măsurat se corectează cu formula

$$T_m = \sum \alpha \frac{f_n}{f_r}, \qquad (3.7)$$

în care T_m este timpul măsurat, în s;

$\Sigma\alpha$ — suma indicațiilor acelor indicatoare;

f_n — frecvența nominală pentru care a fost construit cronometrul, în Hz;

f_r — frecvența sursei de alimentare, în Hz.

Este ușor de observat că atunci cînd frecvența este mai mică decît cea nominală timpul măsurat în realitate este mai mare decît cel indicat de ace, tocmai cu raportul dintre frecvențe.

În mod practic, măsurarea timpilor releelor oferă două cazuri posibile și anume:

— măsurarea timpului de acționare al unui releu de timp, deci a timpului de închidere a unui contact normal deschis; acest lucru se realizează cu montajul din fig. 3.8;

— măsurarea timpului de revenire al unui releu temporizat, deci timpului de deschidere a unui contact normal închis, aceasta se poate realiza conectîndu-se cronometrul ca în fig. 3.9.

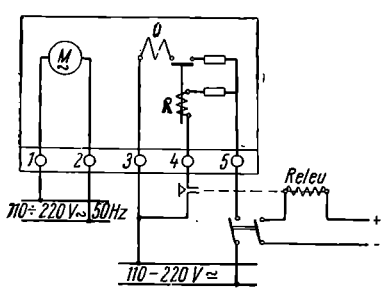


Fig. 3.8. Schemă pentru măsurarea timpului de acționare al unui releu de timp.

Pentru a se evita erorile datorite pornirii motorului sincron cu cronometrul, este bine ca alimentarea lui să nu fie întreruptă sau conectată o dată cu cupla, ci să fie racordată la o sursă în mod permanent. Timpii proprii de acționare ai cuplei electromagnetice și ai releului din interiorul cronometrului sînt practic neglijabili și sînt incluși în eroarea admisibilă a cronometrului.

Comanda automată de pornire și de oprire a cronometrului permite măsurări de precizie ale temporizărilor diferitelor elemente. Totuși, pentru determinarea timpilor proprii de acționare ai releelor netemporizate, acest cronometru nu este recomandat, întrucît acești timpi devin comparabili cu timpii proprii de acționare ai cuplei și releului electromagnetic din interiorul cronometrului. Pentru timpi mai mici decît 50 ms este bine a fi folosit milisecundometrul electronic tip MS-1 (de fabricație indigenă) sau cînd acesta nu există, un montaj special de înregistrare cu osciloscop, luîndu-se ca bază de timp o frecvență oarecare. Folosirea milisecundometrului electronic este totuși mai comodă și mai rapidă decît cealaltă metodă indicată.

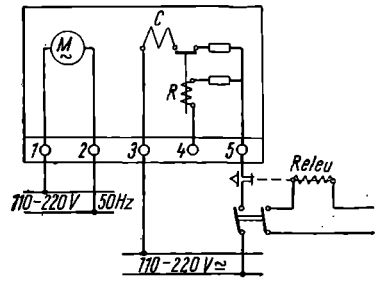


Fig. 3.9. Schemă pentru măsurarea timpului de revenire al unui releu de timp.

Milisecundometrul electronic MS-1. Acesta se compune din următoarele părți principale (fig. 3.10):

— circuitul de încărcare al condensatorului etalon, format din: o pentodă *P*, folosită ca element de rezistență neliniară (cu punctul de funcționare ales în regiunea cu pantă constantă); o rezistență de limitare R_K, care în realitate este divizată în mai multe părți, cu un comutator, pentru lărgirea domeniilor de măsurare (unele tipuri au trei domenii: 0—10; 0—100; și 0—1 000 ms), un condensator etalon C_e; un contact *r*, normal-închis, (sau normal-deschis, în funcție de scopul determinării) al elementului care trebuie determinat și un contact normal-închis al unui releu intermediar;

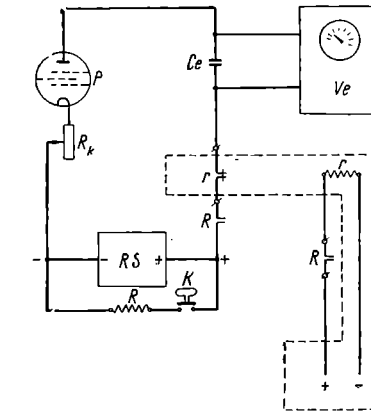


Fig. 3.10. Schema de principiu a milisecundometrului electronic.

— un releu intermediar *R*, comandat de un buton *K*; releul intermediar asigură simultaneitatea momentelor de începere a încărcării condensatorului etalon și a închiderii sau deschiderii

contactului propriu al elementului al cărui timp dorim să-l determinăm (releul r);

— un redresor stabilizat *RS*, care asigură alimentarea circuitului de încărcare al condensatorului și a releului intermediar;

— un voltmetru electronic V_e, care măsoară tensiunea de încărcare a condensatorului etalon și traduce această tensiune în timp; voltmetrul electronic posedă un redresor propriu nestabilizat, care nu este figurat în schemă.

Principiul de funcționare al milisecundometrului reprezentat în fig. 3.10 se poate explica pornindu-se de la expresia tensiunii în funcție de cantitatea de electricitate înmagazinată într-un condensator. În această relație, dacă se înlocuiesc termenii constanți rezultă că tensiunea la bornele condensatorului etalon este direct proporțională cu timpul:

$$V=\frac{Q}{C}=\frac{i\cdot T}{C}=\frac{i}{C}\cdot \cdot T=k\cdot T. \qquad (3.8)$$

Această tensiune se măsoară cu voltmetrul electronic, ale cărui indicații sînt proporționale cu timpul de încărcare al condensatorului C. Este folosit un voltmetru electronic, întrucît are rezistența interioară foarte mare și nu influențează asupra timpului de încărcare al condensatorului. După cum se observă din formula 3.8, indicațiile voltmetrului sînt proporționale cu timpul datorită curentului de încărcare i, care este constant, și capacității condensatorului etalon, care de asemenea este constantă. Curentul i în circuitul de încărcare este constant pentru că pentoda folosită are o pantă constantă.

În realitate, schema milisecundometrului este mai complexă decît cea reprezentată în fig. 3.10. Milisecundometrul permite determinarea timpului propriu al unui releu, atît la acționare cît și la revenire. Schema este reprezentată principial, pentru determinarea timpului de acționare al releului r, ale cărui elemente sînt încadrate în suprafața cuprinsă de linia întreruptă. Măsurarea se pornește cu butonul K, care acționează releul R. Acesta întregește circuitul de încărcare, simultan cu acționarea releului r. Condensatorul C_e este încărcat în tot timpul dintre primirea impulsului la releul r și acționarea acestuia (deschiderea contactului normal închis r). Voltmetrul electronic indică valori proporționale cu acest timp.

3.2.8. Aparate pentru determinarea succesiunii fazelor

În practica protecției prin relee și a automatizărilor, este necesar în multe cazuri să se cunoască sensul de rotație al cîmpului învîrtitor sau, mai corect spus, al succesiunii fazelor. Așa cum

am arătat (§ 3.2.4), importanța cunoașterii succesiunei de rotire a fazelor este evidentă. De asemenea, toate protecțiile direcționale sau de distanță nu pot funcționa corect dacă nu este respectată secvența directă a tensiunilor de alimentare.

Determinarea fazei unei tensiuni este practic imposibilă dacă nu există un sistem de referință legat galvanic cu cel pe care dorim să-l determinăm. Secvența unui sistem trifazat de tensiuni se poate determina ușor chiar dacă nu există un sistem de referință. Acest lucru poate fi realizat în două moduri diferite:

— cu ajutorul unui motor asincron trifazat;

— cu ajutorul filtrelor de secvență directă sau inversă.

Pe aceste două metode se bazează indicatoarele de cîmp învîrtitor folosite de personalul laboratoarelor electrice din țara noastră.

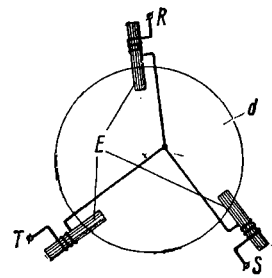


Fig. 3.11. Schema de principiu a indicatorului de sens, cu motor.

Un astfel de indicator de cîmp (de sens) din prima categorie este compus din următoarele piese (fig. 3.11):

— un disc de aluminiu *d* așezat pe lagăre din pietre prețioase, pentru micșorarea frecărilor;

— trei electromagneți *E* dispuși simetric la 120°, legați în stea și cu trei borne de ieșire.

Principiul de funcționare este asemănător cu cel al unui motor asincron trifazat cu rotorul în scurtcircuit.

Este cunoscut că sensul de rotație al unui motor trifazat este în funcție de succesiunea fazelor tensiunilor de alimentare. În cazul alimentării trifazate simetrice, conform notării bornelor de legătură ale indicatorului de sens, distingem două cazuri posibile și anume:

— sensul săgeții indicatoare (marcate pe discul aparatului) se rotește spre dreapta, deci sistemul măsurat este de succesiune directă (*RST*);

— sensul săgeții indicatoare se rotește spre stînga, deci sistemul măsurat este de succesiune inversă (*SRT*).

Acest aparat prezintă dezavantajul că are părți mobile (care se defectează ușor), ceea ce face ca sensibilitatea să scadă destul de repede. Nu este transportabil decît în condiții speciale pentru a nu i se deteriora lagărele pe care se sprijină discul, și are un consum relativ mare. Nu se observă cînd lipsește o fază din sistemul de tensiuni, deci este necesară măsurarea tensiunilor de alimentare.

Un alt tip de indicator de cîmp (sens) (fig. 3.12) este compus din: opt rezistențe, trei condensatoare și două lămpi cu neon. Principiul de funcționare al acestuia se bazează pe folosirea filtrelor de secvență directă și inversă.

Astfel, în cazul cînd cele trei borne ale aparatului (*A.B.C.* sau *R.S.T.*) sînt alimentate de la un sistem de tensiuni a cărui succesiune este directă sau „spre dreapta", se aprinde lampa de sus (L_1). În acest caz, lampa L_2 nu arde. Atunci cînd se alimentează aparatul cu tensiuni a căror succesiune este inversă (adică fazele nu corespund cu notațiile de la borne), se aprinde lampa de jos (L_2) (care indică sensul „spre stînga"). În acest caz, lampa L_1 nu arde.

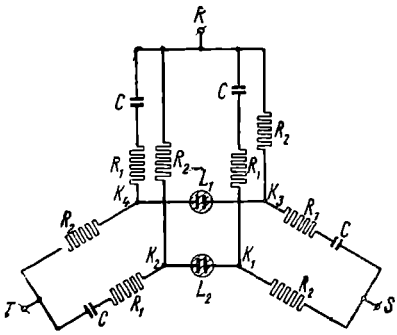


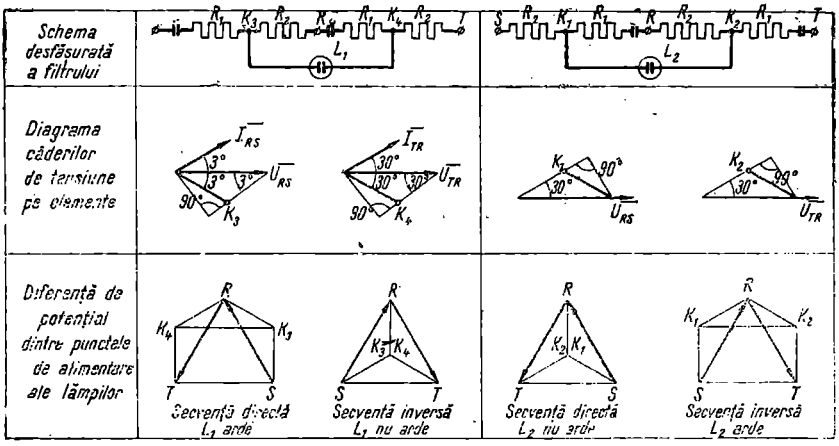
Fig. 3.12. Schema de principiu a indicatorului de sens cu filtru de secvență directă și inversă.

Pentru evidențierea mai clară a principiului de funcționare al acestui aparat, este bine să se cerceteze cu atenție tabela 3.2, unde sînt trasate diagramele tensiunilor fiecărui filtru în parte. Din această tabelă se observă funcționarea schemei, în cazul succesiunilor directă și inversă.

Valorile rezistențelor și ale condensatoarelor sînt alese astfel, încît defazajul capacitiv creat între curent și tensiune să fie de aproximativ 30°. Aceasta face ca diferențele de potențial dintre punctele de racordare a lămpilor (punctele K_1, K_2 pentru L_2 și K_3, K_4 pentru L_1) să aibă valori diferite în cazul aplicării unor tensiuni trifazate simetrice la bornele filtrului.

Rezultă că în cazul alimentării cu un sistem trifazat de succesiune directă diferența de potențial între punctele K_1 și K_2 este nulă, deci lampa L_2 nu arde, în timp ce între punctele K_3 și K_4 ea este maximă (egală cu tensiunea dintre faze), deci lampa L_1 arde. În cazul alimentării cu tensiune trifazată de succesiune inversă, diferența de potențial între punctele K_1 și K_2 devine maximă, iar între punctele K_3 și K_4 ea este nulă, ceea ce face ca aprinderea lămpilor L_2 și L_1 să fie inversă decît în cazul precedent.

Un amănunt ce trebuie observat este acela că, în cazul dezechilibrării oricăruia dintre filtre, tensiunea care apare între punctele de alimentare ale lămpilor este egală și în fază cu tensiunea U_{TS}. De asemenea, atunci cînd lipsește una dintre faze, de exemplu faza *R*, diferența de potențial dintre punctele de alimen-


Schema desfășurată a filtrului
Diagrama căderilor de tensiune pe elemente
Diferență de potențial dintre punctele de alimentare ale lămpilor
Secvență directă L1 arde
Secvență inversă L1 nu arde
Secvență directă L2 nu arde
Secvență inversă L2 arde

tare ale lămpilor (K_1 cu K_2 și K_3 cu K_4) este în fază cu tensiunea U_{TS} și are jumătate din valoarea sa (fig. 3.13). Întrucît lămpile de semnalizare L_1 și L_2 folosite în acest tip de indicator se amorsează la tensiuni destul de mici, în cazul semnalat (lipsa unei faze din sistemul trifazat de alimentare) se aprind ambele lămpi în același timp. Acest lucru constituie un avantaj față de primul indicator descris. Alte avantaje care sînt și acelea că are numai părți statice și elemente componente simple și sigure (rezistențe, condensatoare, lămpi).

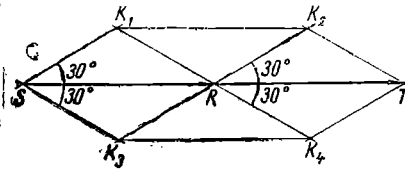


Fig. 3.13. Diagrama tensiunilor din punctele K_1—K_2 și K_3—K_4 (de alimentare a lămpilor L_1 și L_2)

3.3. Dispozitive pentru verificarea izolației circuitelor secundare

Izolația față de panourile metalice pe care sînt montate instalațiile joacă un rol important în buna lor funcționare. Scopul încercărilor izolației este acela de a se elimina eventualele puneri la pămînt care pot falsifica funcționarea corectă a instalațiilor de protecție și automatizare. Pentru aceasta, atît la punerea în funcțiune a instalațiilor noi, cum și în mod periodic controlul izolației este una din încercările esențiale în acest domeniu. Instalațiile de protecție și automatizare sînt racordate în

marea lor majoritate la înfășurările secundare ale transformatorilor de măsură, deci sînt tratate ca circuite secundare. Avînd în vedere acest fapt, tensiunea de încercare a izolației este limitată la maximum 1 000 V în curent alternativ sau 2 500 V în curent continuu, pentru toate elementele racordate în circuitele secundare. Precizări în acest sens sînt cuprinse în P.E.T. și în instrucțiunile speciale indicate de firma constructoare.

In mod practic, operațiile care pregătesc încercarea izolației sînt următoarele:

— se delimitează zonele de încercare a izolației; este recomandabil să se separe instalația, dacă este posibil, chiar în circuite simple, pentru a nu fi multe circuite în paralel;
— se separă instalația de la orice sursă de tensiune;
— se deconectează (în mod provizoriu, pentru această încercare) toate legăturile la pămînt prevăzute în proiect sau de norme speciale;
— se șuntează sau se deconectează din instalație toate piesele sau elementele care în mod normal nu rezistă la această probă (condensatoare, redresoare, semiconductoare, relee sau reglete telefonice etc.), avînd parametri nominali inferiori.

Incercarea propriu-zisă constă din supunerea tuturor părților conductoare ale instalației la o tensiune superioară celei nominale. Pentru aceasta se leagă un pol al instalației de încercare la partea conductoare a instalației, iar celălalt pol la pămînt.

La încercarea izolației instalațiilor de protecție și automatizare (circuite de protecție, măsură sau comandă) nu se urmăresc aceiași parametri ca la încercarea aparatajului primar, ci numai o parte și anume: determinarea rezistenței minime de izolație și a comportării la tensiunea de încercare. Încercările se pot efectua în curent continuu sau în curent alternativ.

Pentru încercările în curent continuu se folosesc pe scară largă megohmmetre de 500, 1 000 și 2 500 V. Cel mai mult este utilizat megohmmetrul de 2 500 V. In practică, rezistența de izolație măsurată cu inductorul variază foarte mult, întrucît este influențată de foarte mulți factori; dintre cei mai importanți amintim lungimea circuitelor racordate, felul izolației folosite, umiditatea, tensiunea aplicată etc. Ca ordin de mărime, o izolație a unei instalații de curent continuu sub 0,5 MΩ pe timp uscat începe să devină suspectă, mai ales la instalațiile noi.

Mult mai rar se fac în acest domeniu încercări de izolație cu curent continuu, utilizîndu-se instalații de redresare.

Încercările cu curent alternativ sînt obligatorii pentru toate elementele de protecție și automatizare.

Cea mai simplă instalație folosită pentru aceste încercări este reprezintă în fig. 3.14 și care este compusă din: un transformator ridicător de tensiune *TI*, de la tensiunea rețelei (de exemplu 220 V) pînă la 2 500 V, aparate de măsură, ampermetru și voltmetru. Atragem atenția că tensiunea înaltă trebuie măsurată direct la aparatul care se încearcă.

Curentul poate fi măsurat în primar, însă este mai corect să fie măsurat dacă este posibil în circuitul de înaltă tensiune. Si-

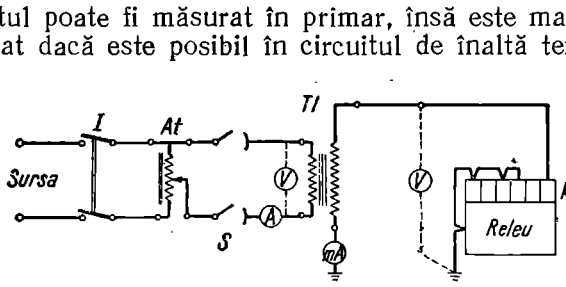


Fig. 3.14. Schema de principiu a instalației de încercare a izolației cu tensiune alternativă mărită

guranțele sau întrerupătoarele automate *S* trebuie reglate pentru curentul nominal al transformatorului *TI*. Autotransformatorul reglabil *At* folosește pentru variația tensiunii, de la *0* la valoarea necesară încercării.

Un alt aparat folosit pentru încercarea izolației este trusa portativă de încercare cu tensiune alternativă mărită, tip TP — 1 kV. Ea este destinată pentru încercarea izolației aparatelor și circuitelor secundare din instalațiile de automatizare și de protecție ale sistemelor energetice. Dimensiunile ($165\times220\times190$ mm) și greutatea ei redusă (4,5 kg) cum și ușurința de manipulare și de transport fac ca această trusă să fie ușor utilizabilă pentru încercările de teren, chiar în locuri greu accesibile și puțin spațioase. De asemenea poate fi folosită cu succes în laboratoare și în ateliere electrice, ca sursă de tensiune ridicată pentru detectarea defectelor de izolație ale aparatajului electric în curs de modificare, verificare etc.

3.4. Surse pentru variația curentului și a tensiunii

3.4.1. Elemente simple pentru variația tensiunii și a curentului

Marea majoritate a fenomenelor electrice care se produc în timpul unei avarii, adică atunci cînd trebuie să intre în acțiune protecția sau automatizarea elementului avariat, se pot simula

prin variația curentului sau a tensiunii. Limitele de variație a curentului și a tensiunii sînt destul de mari (de exemplu pentru curent, trebuie obținute valori de la mii de amperi pînă la zeci de miliamperi).

Posibilitățile de obținere a variațiilor dorite sînt multiple, mai ales în curent alternativ, unde prin transformatoare se poate realiza orice multiplicare sau demultiplicare. Acestea trebuie executate cu precauții speciale, pentru a nu se deforma sinusoida de curent sau de tensiune, ceea ce ar conduce în unele cazuri la rezultate eronate.

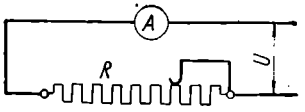


Fig. 3.15. Reostat.

Cele mai simple dispozitive cu ajutorul cărora se poate varia curentul și tensiunea sînt reostatele, potențiometrele și autotransformatoarele reglabile. Reostatele folosite în laboratoarele electrice se construiesc pentru rezistențe de 100—1 Ω și curenți de 1—30 A sau chiar mai mult. În fig. 3.15 este reprezentată schema electrică a unui reostat și folosirea lui într-un circuit electric.

Potențiometrele sînt construite în principiu la fel ca și reostatele însă se deosebesc de acestea prin cîteva detalii constructive. Sînt prevăzute cu trei borne de ieșire în loc de două, fig. 3.16. Sînt construite cu conductor mult mai subțire și deci rezistența

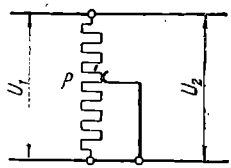


Fig. 3.16. Potențiometru.

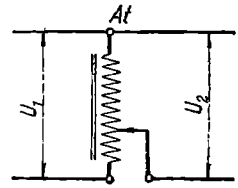


Fig. 3.17. Autotransformator reglabil (Variac).

sa este mult mai mare decît a reostatului. Potențiometrele cele mai folosite în practica verificărilor de relee au între 7 000÷150Ω și 0,1—1 A.

Cu reostatele și potențiometrele se obține o variație a rezistenței în mod continuu; în afară de acestea se mai folosesc și cutii cu rezistențe așa-numitele decade care realizează variații în trepte.

Autotransformatoarele reglabile fig. 3.17 sînt dispozitive care deasemenea permit obținerea la bornele de ieșire a unei tensiuni variabile între limite largi și în mod continuu. Aceasta se

realizează prin culegerea căderilor de tensiune cu ajutorul unui cursor direct de la spirele înfășurării sale. Un mare dezavantaj al autotransformatorului reglabil este faptul că nu permite scheme izolate glavanic de rețeaua de alimentare. Este cunoscută din practică posibilitatea de deteriorare a aparatelor de măsurat și a aparatelor de încercare cînd în schemă se folosește un autotransformator și nu se întrerup toate legăturile la pămînt, (cazul din fig. 3.18). În aceste cazuri, trebuie întotdeauna întreruptă legătura la pămînt iar atunci cînd acest lucru nu este posibil se introduce un transformator între aparate și autotransformator. În afara acestor elemente simple, pentru variația tensiunii și a curentului, în practica verificărilor se folosesc și alte dispozitive mai complexe. Dintre cele mai folosite dispozitive construite în țară sînt trusa de curent și de tensiune și trusa de 1 200 A.

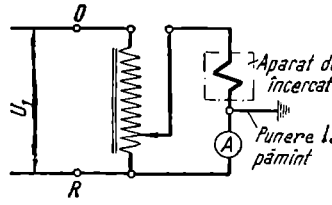


Fig. 3.18. Schemă incorectă cu autotransformator reglabil.

3.4.2. Trusa de curent și de tensiune

Aceasta este destinată verificării releelor secundare de curent sau de tensiune sau a aparatelor de măsurat (fig. 3.19).

Elementul principal al trusei este transformatorul *TP* care are două înfășurări secundare, una de curent, cealaltă de tensiune. Înfășurarea de curent poate debita un curent maxim de 5, 10 sau

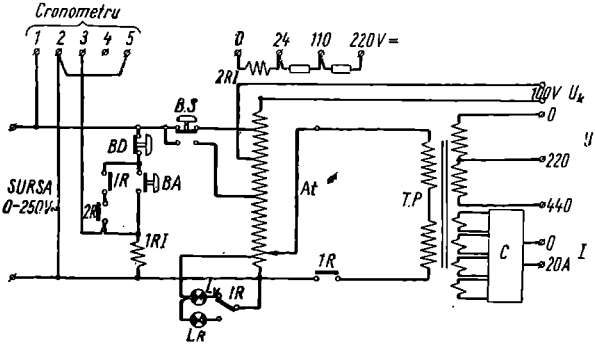


Fig. 3.19 Schema de principiu a trusei de curent și de tensiune.

20 A, după modul cum sînt conectate cu ajutorul conectorului *C* cele patru bobine ale sale. Puterea înfășurării de curent este suficientă pentru încercarea oricărui tip de releu secundar. A doua înfășurare secundară poate debita tensiuni între 0—220 V și 0—440 V. Tensiunea de 220 V este adusă la bornele trusei de la o priză a înfășurării. La înfășurarea primară se aplică tensiunea variabilă de 0÷250 V cu ajutorul autotransformatorului reglabil *At*. Trusa are bornele speciale 1÷5 pentru conectarea unui cronometru electric de tip KRIŽIK în scopul măsurării timpului de acționare a releelor care se verifică. Pentru punerea și scoaterea din funcțiune a trusei sînt prevăzute două relee speciale 1*RI* și 2*RI*. Releul 1*RI* este alimentat cu curent alternativ iar releul 2*RI* cu curent continuu. Tensiunile cu care se alimentează releul 2*RI* se conectează la bornele special prevăzute și pot avea valorile 24, 110 și 220 V c.c.

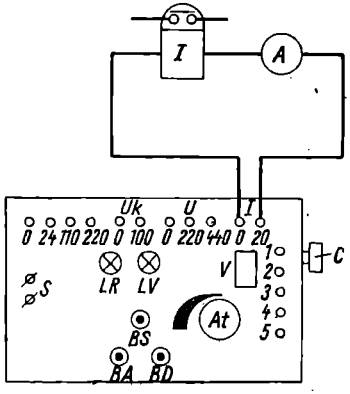


Fig. 3.20. Schema trusei de curent și tensiune pentru încercarea releelor maximale.

Pentru încercări speciale ale aparatelor wattmetrice, trusa are prevăzute două borne speciale, la care există o tensiune practic constantă de 100 V, necesară alimentării circuitului de tensiune al elementului wattmetric respectiv, circuitul de curent fiind alimentat de la partea de curent a transformatorului principal.

Trusa are posibilitatea de a mări pentru scurt timp valorile reglate (aproape pînă la dublu) cu ajutorul butonului special *BS*, prevăzut în circuitul de alimentare al autotransformatorului reglabil.

Pentru încercări care necesită variații de curent, se deosebesc două variante.

Pentru încercări simple ale releelor de curent și ale aparatelor de măsurat (ampermetre) se folosește schema din fig. 3.20. Se alimentează trusa la bornele *S*, se leagă releul sau ampermetrul la bornele *I* și se reglează curentul cu ajutorul transformatorului variabil. Pentru mărirea curentului se rotește butonul autotransformatorului de la stînga spre dreapta. Este recomandabil ca înainte și după terminarea încercărilor butonul autotransformatorului să se afle la limita inferioară (stîngă), pentru a nu se da naștere unor șocuri mari de curent atunci cînd se conectează trusa la rețea.

Pentru încercări complete ale releelor de tensiune în a căror schemă intră și elemente de timp, se folosește schema din fig. 3.21. La această încercare sînt necesare în plus față de varianta din fig. 3.20 o sursă de curent continuu cu una dintre cele trei tensiuni indicate pe placa frontală a trusei și un cronometru electric tip KRIZIK, conectat la bornele corespunzătoare.

La trusa de curent și de tensiune, tensiunea U_k este folosită pentru verificări speciale și anume pentru elemente wattmetrice sau direcționale. Aceste verificări se efectuează cu ajutorul unui montaj ca cel din fig. 3.22. La bornele U_k se leagă bobina de tensiune a elementului wattmetric. La bornele I se leagă bobina de curent a elementului wattmetric în conformitate cu polaritatea indicată în figură. Variația curentului se obține cu ajutorul autotransformatorului în fel ca în variantele precedente.

Greutatea redusă a trusei și posibilitățile multiple de folosire a ei o fac foarte utilă atît în laboratoare cît și pe teren, în scopul verificării elementelor de protecție și automatizare.

Unul dintre dezavantajele ei este acela că deformează sinusoida, în special cea a curentului. Deformarea este produsă de transformatorul și de autotransformatorul folosit, al căror miez de fier se saturează.

Forma nesinusoidală a curentului face ca reglajele stabilite sau verificate cu un astfel de curent să fie mult diferite de cele stabilite sau verificate în curent sinusoidal.

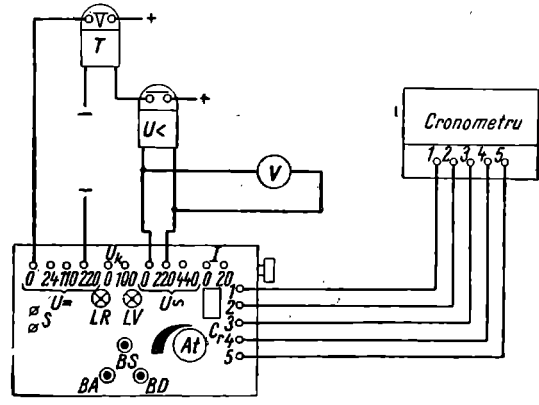


Fig. 3.21. Schemă pentru încercarea releelor de tensiune.

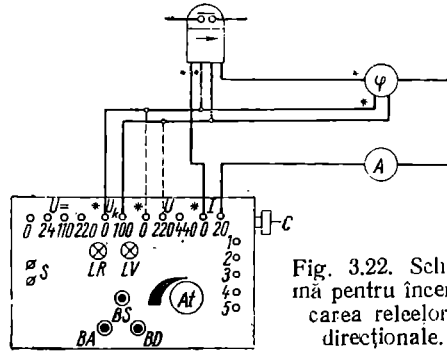


Fig. 3.22. Schemă pentru încercarea releelor direcționale.

Uneori eroarea atinge 20% și chiar mai mult. Releele care sînt influențate mai mult de forma curbei curentului sînt cele de inducție și cele cu saturație rapidă (releele direcționale, diferențiale etc.).

Erorile de acest fel se pot micșora prin introducerea unor rezistențe (de cîțiva Ω), în serie cu circuitul de curent sau prin folosirea unor elemente (transformatoare sau autotransformatoare) care să nu se satureze. Prin aceasta se face ca inductanța circuitului respectiv să fie practic neglijabilă.

3.4.3. Trusa de 1200 A

In scopul încercării releelor sau a transformatoarelor de curent la valori cît mai apropiate de parametrii nominali este necesar uneori să se obțină curenți de zeci, sute și chiar mii de amperi. In curent alternativ obținerea unor curenți de sute și chiar peste 1 000 A nu este prea dificilă și se poate realiza cu trusa de 1 200 A construită în țară, a cărei schemă de principiu este aceea din fig. 3.23.

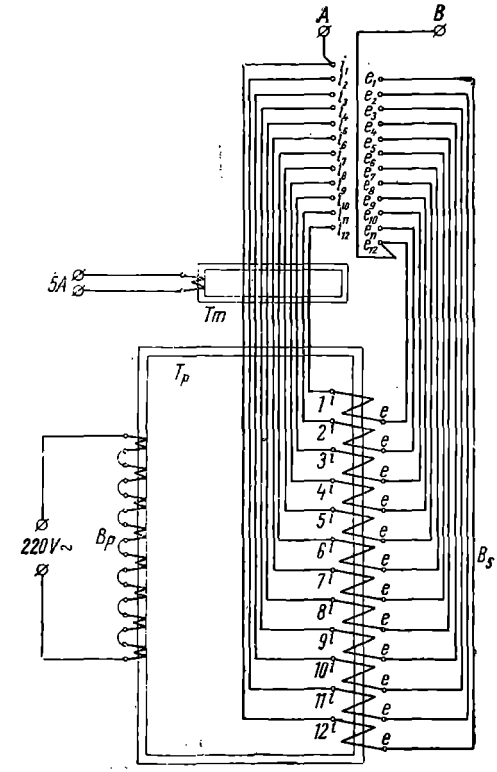


Fig. 3.23. Schema de principiu a trusei de 1 200 A.

Din figură se vede că trusa este compusă din următoarele părți distincte:

— Transformatorul principal T_p, pe al cărui miez magnetic sînt dispuse opt înfășurări primare și 12 înfășurări secundare. Cele opt bobine primare permit, prin conectarea lor în serie, alimentarea înfășurării primare cu o tensiune maximă de 220 V. Cele 12 înfășurări secundare sînt aduse la un sistem de eclise care permit conec-

tarea lor în serie sau în paralel și în diferite combinații, astfel încît se pot obține în secundar curenți de 100, 200, 300, 400, 600 și 1 200 A.

— Transformatorul de măsură *Tm*, care permite măsurarea curentului în secundarul trusei. Primarul transformatorului este format din toate capetele de intrare ale înfășurărilor secundare ale trusei. Secundarul este o înfășurare separată la care se conectează un ampermetru. Raportul de transformare al acestui transformator de măsură este raportul dintre treapta de curent pentru care sînt realizate legăturile la ecliselе trusei și curentul nominal de 5 A al aparatelor de măsurat folosite ca etalon.

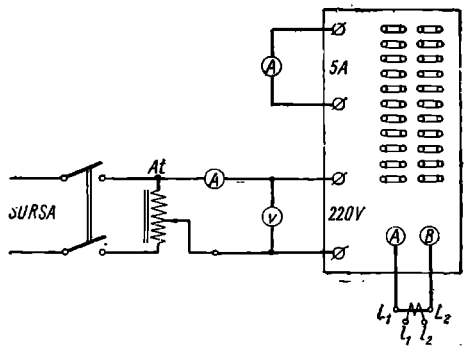


Fig. 3.24. Schema de montaj a trusei de 1 200 A.

La bornele de alimentare de 220 V se conectează o sursă variabilă de 0—220 V și 50 Hz. În funcție de tensiunea aplicată și deci de curentul care circulă în bobinele primare se induc în înfășurările secundare tensiunii electromotoare corespunzătoare.

Acestea dau naștere unui curent a cărui valoare depinde de montajul ecliselor și de valoarea sarcinii (releu sau transformator) conectată la bornele secundare *A*, *B*.

Transformatorul de măsură este parcurs în tot timpul de suma curenților din înfășurările secundare. Constanta lui este aceeași ca și a treptei de curent care rezultă din montajul ecliselor. Schema de încercare cu trusa de 1 200 A este reprezentată în fig. 3.24.

Puterea trusei în secundar este de 1 000—1 500 VA. Pentru evitarea căderilor de tensiune în secundar este bine ca legăturile trusei cu transformatorul să se execute cu cordoane groase și scurte.

3.5. Surse pentru variația unghiului de defazaj

Verificarea releelor de distanță prevăzute cu compensație (tip RD7 sau D111), a releelor direcționale, a releelor de control ale sincronismului etc., cum și a aparatelor care funcționează pe

principiul wattmetric, necesită obținerea a diferite unghiuri de defazaj între curent și tensiune, între tensiuni sau între curenți.

In acest scop, în laboratoarele electrice sau de specialitate se folosesc instalații speciale numite decaloare.

3.5.1. Decalorul trifazat fix

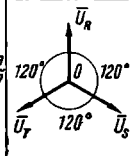
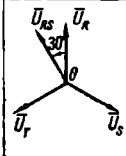
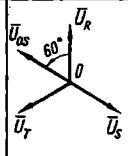
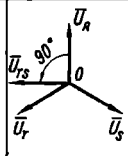
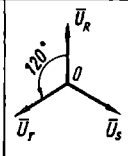
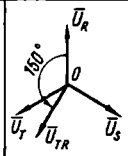
Pentru instalațiile fixe de laborator este folosit așa-numitul decalor trifazat, care în tehnica de specialitate se mai numește și regulator de fază. Decalorul de fază trifazat este realizat cu ajutorul unei mașini asincrone cu rotorul calat.

La acest decalor, dacă se rotește rotorul față de stator (cu un angrenaj special cu șurub fără sfîrșit) se variază continuu faza tensiunii electromotoare a rotorului, fără a se schimba valoarea ei. Imbunătățirile realizate în tehnica construcției de mașini electrice fac posibilă obținerea unei tensiuni electromotoare rotorice de formă riguros sinusoidală, lucru foarte important pentru încercările necesare în domeniul protecției prin relee și al automatizărilor. De asemenea puterea relativ mare și faptul că se obține un sistem trifazat simetric face ca acest decalor de unghi să fie de nelipsit în toate laboratoarele electrice. Greutatea mare și sistemul de manevrare al dispozitivului de rotire face ca acest utilaj să fie practic imposibil de transportat.

3.5.2. Decalorul monofazat transportabil

Pentru efectuarea verificărilor pe teren, direct la locul de instalare a releelor sau aparatajului, se poate construi o instalație specială sau se pot realiza decalaje fixe în trepte de cîte 30°, folosindu-se un sistem de tensiuni trifazat simetric. Luîndu-se ca referință o tensiune a sistemului trifazat se pot obține defazaje diferite folosindu-se tensiunile celorlalte faze. De exemplu, luîndu-se ca referință tensiunea $\overline{U}_{RO}$ se obține unghiul de 30° față de $\overline{U}_{RS}$, 60° față de $\overline{U}_{OS}$, 90° față de $\overline{U}_{TS}$ etc. folosindu-se toate combinațiile posibile, așa cum se poate vedea în tabela 3.3. Am luat sensul invers acelor de ceasornic întrucît rotim vectorul de tensiune și-l presupunem constant pe cel de curent, obținînd în acest mod un defazaj inductiv (succesiune directă) între curent și tensiune.

In cazul cînd dorim ca variația unghiului să se facă și pentru valori intermediare celor indicate, se folosește o instalație specială, care se poate realiza în orice loc unde există o sursă de tensiune trifazată.

Unghiul dat între cele două tensiuni	*0° sau 360°*	*30°*	*60°*	*90°*	*120°*	*150°*
Tensiune de referință	$\overline{U}_{RO}$	$\overline{U}_{RO}$	$\overline{U}_{RO}$	$\overline{U}_{RO}$	$\overline{U}_{RO}$	$\overline{U}_{RO}$
Tensiunea defazată	$\overline{U}_{RO}$	$\overline{U}_{RS}$	$\overline{U}_{OS}$	$\overline{U}_{TS}$	$\overline{U}_{TO}$	$\overline{U}_{TR}$
Diagrama vectorială						

Această instalație se poate obține cu două potențiometre sau autotransformatoare reglabile, montate ca în schema din fig .3.25. Autotransformatorul φ are bornele *X* și *Z* iar cursorul său borna *Y*. Autotransformatorul *U* are bornele *1* și *2* iar cursorul său borna *3*.

Principiul de funcționare al instalației se bazează pe defazajul existent între doi vectori de tensiune alăturați dintr-un sistem trifazat simetric. In schema din fig. 3.25 se folosește defazajul dintre vectorii $\overline{U}_{RT}$ și $\overline{U}_{RS}$. Este ușor de observat că modificarea poziției cursorului potențiometrului φ va atrage după sine variația fazei vectorului tensiunii aplicate potențiometrului *U*.

Zona acestei variații este cuprinsă între vectorii $\overline{U}_{RT}$ și $\overline{U}_{RS}$, fiind deci de 60°. Tot din schema din fig. 3.25 se deduce că o dată cu unghiul, variază între limite mult mai mici (circa 14% din tensiunea nominală) și tensiunea culeasă de autotransformatorul *U*. Modificîndu-se judicios conexiunile autotransformatoarelor φ și *U* conform tabelei 3.4 se pot extinde variațiile de unghi, însă tot în zone de 60°.

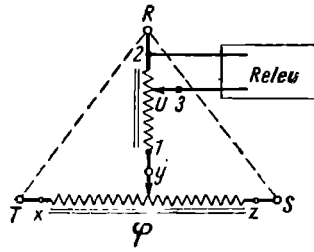
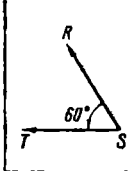
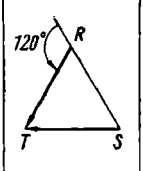
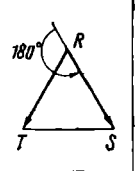
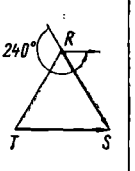
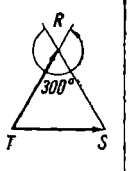
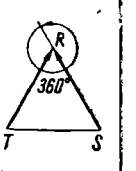
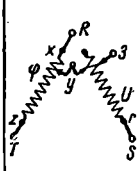
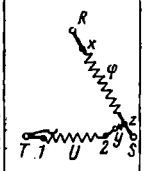
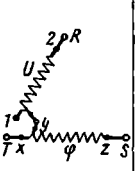
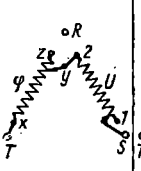
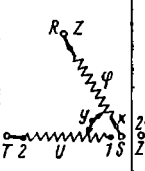
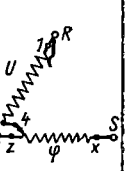


Fig. 3.25. Schema de principiu a decalorului monofazat (simplificată).

0°–60°	60°–120°	120°–180°	180°–240°	240°–300°	300°–360°
					
					

În țara noastră se execută o trusă care realizează un defazaj monofazat după un principiu apropiat de cel indicat mai sus, la care s-a înlăturat dezavantajul arătat, al scăderii tensiunii în funcție de unghi. Trusa se numește „decalor de unghi" și folosește două autotransformatoare reglabile, dintre care unul de o construcție specială (fig. 3.26).

Schema de comutare și legăturile necesare pentru realizarea unei variații continue a unghiului între 0 și 360° sînt indicate în tabela 3.4. Legăturile se realizează în acest fel cu ajutorul unui comutator special. Ca vector de referință se ia vectorul de curent sau de tensiune al circuitului care rămîne fix pentru aparatul care se încearcă. La bornele *1* și *3* ale autotransformatorului *U* se racordează circuitul aparatului încercat (partea care necesită variația unghiului).

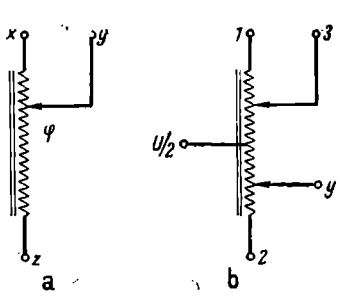


Fig. 3.26. Schemele interioare ale autotransformatoarelor folosite în decalorul monofazat:

a — autotransformatorul care variază unghiul; *b* — autotransformatorul care variază tensiunea.

Se observă că prin mutarea cursorului *3* al autotransformatorului *U* se obține o tensiune variabilă ca valoare. În ce privește faza tensiunii, aceasta poate fi reglată prin mutarea cursorului *y* al autotransformatorului φ. Din tabela 3.4 se observă că pentru 0—60°, vec-

torul inițial la bornele *1—3* ale autotransformatorului *U* este în fază cu vectorul $\overline{U}_{RS}$; prin mutarea cursorului *Y* al autotransformatorului φ de la *R* la *T*, tensiunea autotransformatorului *U*, implicit tensiunea de ieșire (bornele *1—3* ale autotransformatorului), trece prin faze intermediare, iar în punctul *T* devine în fază cu vectorul $\overline{U}_{TS}$. În acest fel faza vectorului tensiunii de ieșire variază de la 0 la 60°. Printr-o permutare judicioasă a conexiunilor celor două autotransformatoare, se obține o variație continuă în șase trepte de cîte 60° a unghiului de defazaj dintre vectorul tensiunii la bornele *1—3* și vectorul U_{RS}. Variația fină a unghiului de defazaj în intervalul oricărei trepte se obține prin deplasarea cursorului *Y*.

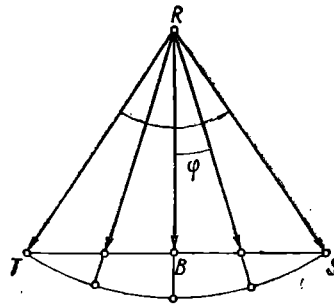


Fig. 3.27. Variația tensiunii de ieșire în funcție de variația unghiului.

În intervalul unei trepte, se observă că la deplasarea cursorului *Y* tensiunea de ieșire variază nu numai ca fază ci și ca valoare, deoarece tensiunea culeasă pentru autotransformatorul *U* nu variază după un arc de cerc, ci după o coardă (fig. 3.27). Rezultă ușor că atunci cînd cursorul *Y* se află la 30° față de $\overline{U}_{RS}$ tensiunea culeasă este cu ≈14% mai mică, conform formulei:

$$U_{\varphi}=U_{RS}\frac{\cos 30^{\circ}}{\cos \varphi}, \qquad (3.9)$$

în care s-a luat ca referință mijlocul vectorului $\overline{U}_{ST}$ (sau punctul *B*) pentru φ=0°; deci de la *S* la mijlocul vectorului $\overline{U}_{ST}$:

$$U_{\varphi}=U_{RS}\cos 30^{\circ}=0{,}866\ U_{RS}.$$

Pentru a se menține totuși constantă valoarea tensiunii aplicate la ieșirea din trusă, atunci cînd se variază unghiul de defazaj, pe autotransformatorul *U* se montează cursorul special *y'* (fig. 3.26, *b*), a cărui cursă depinde de poziția cursorului *Y* al autotransformatorului φ, printr-un sistem special de articulație. Zona de acțiune a cursorului *y'* al autotransformatorului *U* este limitată la o porțiune din bobinajul acestuia, care corespunde variației maxime a valorii tensiunii de ieșire, la variația unghiului de defazaj.

Pentru necesitățile practice ale folosirii decalorului în domeniul protecției prin relee este suficientă reducerea variației amintite (pînă la 5%).

3.6. Surse pentru variația frecvenței

Pentru reglarea și verificarea releelor de frecvență și a aparatelor de sincronizare utilizate la operațiile de conectare în paralel a generatoarelor de curent alternativ este necesar să se obțină variații de frecvență între limite apropiate de frecvența nominală a sistemului. În practica verificărilor sursa de frecvență variabilă se poate obține în două moduri și anume: cu un generator de frecvență electronic și cu grup convertizor sau generator obișnuit de curent alternativ.

Cel mai simplu mijloc este folosirea unui generator de curent alternativ obișnuit care să funcționeze pe bară separată și care să furnizeze toate variațiile necesare atît de frecvență cît și de tensiune. Această metodă nu este însă posibilă întotdeauna și are marele dezavantaj că este foarte costisitoare.

Cel mai larg răspîndit mijloc de obținere a variației de frecvență necesară reglajului releelor de frecvență este folosirea generatorului electronic de joasă frecvență.

Generatorul de frecvență electronic este comod de manevrat, nu face zgomot, este destul de economic și poate fi transportat cu ușurință pe teren. Are însă o putere mică și uneori o curbă de tensiune nesinusoidală la ieșire.

În ultimul timp, în U.R.S.S. s-a construit special pentru acest scop un generator de frecvență industrială, transportabil, după sistemul propus de V. Z. Nikitski. Caracteristicile principale ale acestui generator sînt: greutate mică (de 13 kg) la o putere de ieșire de 30 W. Permite o variație de frecvență între 44 și 54 Hz, pentru o tensiune de ieșire sinusoidală constantă (100 V). Generatorul poate fi folosit și în alte scopuri de laborator (preamplificator, amplificator de ieșire etc.).

Un alt mijloc pentru obținerea variației de frecvență între limitele necesare verificării releelor de frecvență este folosirea unui grup convertizor compus dintr-un generator de curent alternativ de 50 Hz de putere mică, acționat de un motor electric (de curent continuu sau alternativ) cu turație variabilă între limitele necesare variației de frecvență. Acest mijloc este mai avantajos din punctul de vedere al formei curbei de tensiune la ieșire și al puterii. El are însă dezavantajul că produce zgomot, se ma-

nevrează greu. Nu poate fi transportat la locul de instalare al releelor ce trebuie verificate, deci necesită demontarea și aducerea în laborator a acestora.

3.7. Instalații speciale pentru verificări complexe

Pentru verificarea protecțiilor complexe (de exemplu de distanță) se folosesc instalații speciale care pot realiza condiții de funcționare asemănătoare defectelor reale în instalațiile primare.

3.7.1. Trusa pentru verificarea releelor de distanță tip RD7

Trusa este destinată reglării, punerii la punct și verificării releelor de distanță (în special tip RD7).

Schema folosită pentru realizarea acestei truse are în vedere reducerea la minimum posibil a aparatelor de măsurat necesare determinării parametrilor inițiali, a greutății și gabaritelor trusei, cum și a posibilităților de racordare și folosire în instalațiile existente. Trusa este transportabilă și comodă de manevrat.

Principiul de funcționare al trusei permite realizarea unei impedanțe variabile între limite largi. Prin racordarea corespunzătoare la bornele protecțiilor de distanță se pot simula condițiile de funcționare a instalațiilor de protecție, în special defectele (nesimetrice) care apar mai des în sistemele energetice. Schema de principiu a trusei este reprezentată în fig. 3.28.

Transformatorul de alimentare *TA* este alimentat de la rețea cu tensiunea de 220 V și alimentează circuitul principal de curent. Este prevăzut cu trei prize, la care se racordează cele trei trepte de curent ale trusei. Treptele de curent sînt de *5*, *10* și *20* A, permițînd un reglaj de ± 15—20% din aceste valori. Reglajul se realizează cu ajutorul reostatului *R* și a comutatorului său *5C*, între limitele menționate. În circuitul principal de curent mai sînt cuprinse rezistențele *1R*—*5R* și bobina *Z*, care realizează patru trepte fixe de *0°*, *60°*, *70°* și *80°* defazaj inductiv între curentul și tensiunea la bornele trusei.

Transformatorul de tensiune *TT* este alimentat cu căderea de tensiune în punctele *A*, *B*, datorită rezistențelor și impedanțelor din circuitul de curent. Transformatorul de tensiune alimentează bornele de tensiune ale trusei și permite un reglaj în trepte de volți și zeci de volți, între 1 și 129 V. Circuitul de tensiune mai are trei valori speciale, pentru încercări tip ale unor impedanțe ale releului și pentru diferite unghiuri de defazaj. Valorile din

circuitul de tensiune se modifică cu ajutorul comutatoarelor *2C*, *3C* și *4C*: pentru volți cu comutatorul *3C*, pentru zeci de volți cu comutatorul *2C* și pentru fracțiuni ($\pm 8\%$) din valorile reglate cu comutatorul *4C*.

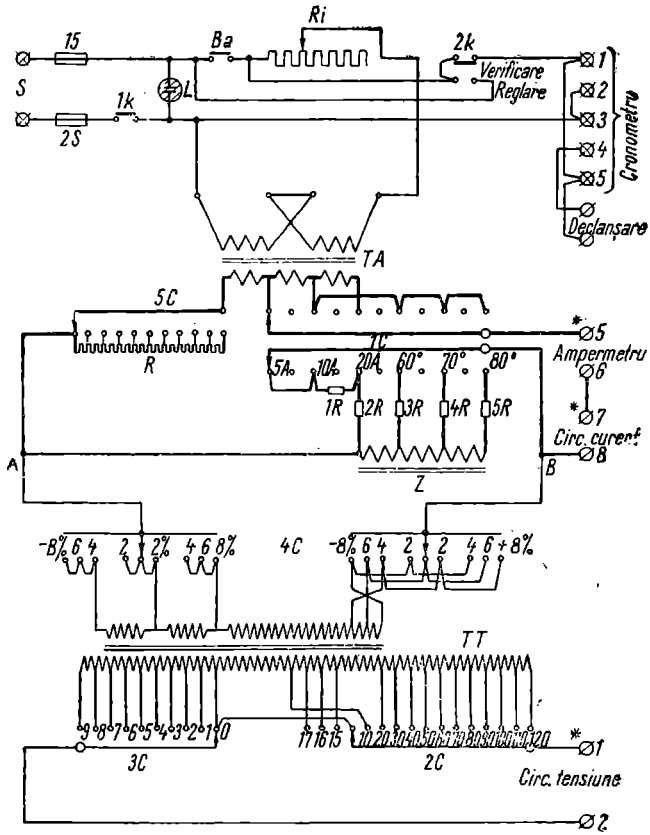


Fig. 3.28. Schema de principiu a trusei pentru verificarea releelor de distanță tip RD7.

În schemă se mai observă bornele pentru racordarea cronometrului (necesar determinării timpilor de acționare ai protecției în zonele respective).

Particularitatea principală a schemei este aceea că impedanțele realizate de trusă se determină numai cu un ampermetru, deoarece:

— valoarea curentului se menține constantă (10 A) în tot timpul probelor;

— căderile de tensiune culese de transformatorul de tensiune sînt aceleași pentru orice treaptă de curent sau unghi de defazaj (cu excepția treptei de 5 A);

— consumul în circuitul de tensiune al trusei nu influențează sensibil valoarea curentului din circuitul de curent.

3.7.2. Stație trifazată de verificare a aparatelor de măsurat și a releelor de distanță

Instalația dă posibilitatea realizării celor mai multe feluri de defecte și fenomene care se ivesc în sistemele energetice, deci posibilitatea de verificare completă a majorității tipurilor de protecție, inclusiv cele de distanță.

Posibilitățile multiple de folosire a acestei instalații o fac de nelipsit în dotarea laboratoarelor sau a serviciilor care se ocupă de verificarea și exploatarea instalațiilor de protecție și de automatizare.

Principiul de funcționare al stației este reprezentat în schemele de principiu din fig. 3.29 și 3.30. Stația este compusă din următoarele piese separate:

— Un pupitru principal pe care se găsesc întrerupătoarele, comutatoarele și butoanele necesare comenzilor și reglării mărimilor electrice; tot pe acest pupitru se găsesc și aparatele de măsurat.

— Un pupitru auxiliar pe care se află un suport pentru fixarea diferitelor tipuri de relee și aparate de măsurat care trebuie verificate; de asemenea se găsesc o serie de borne necesare racordării instalației cu aparatul care se încearcă.

— Două corpuri pe care se sprijină pupitrul principal dispuse în stînga și în dreapta operatorului.

— În corpul dispus în dreapta operatorului sînt aranjate la diferite nivele autotransformatoare reglabile și transformatoare pentru circuitele de tensiune ale instalației. Se mai găsesc de asemenea rezistențele adiționale ale aparate-

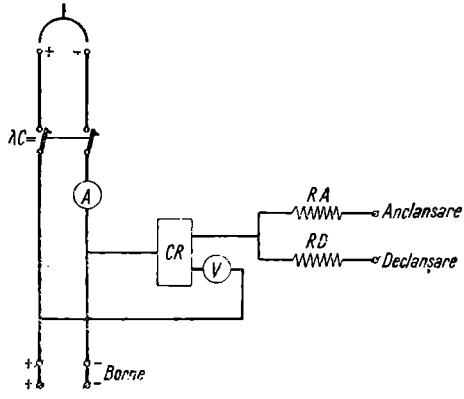


Fig. 3.29. Schema de principiu a stației trifazate pentru verificarea releelor speciale (partea de curent continuu).

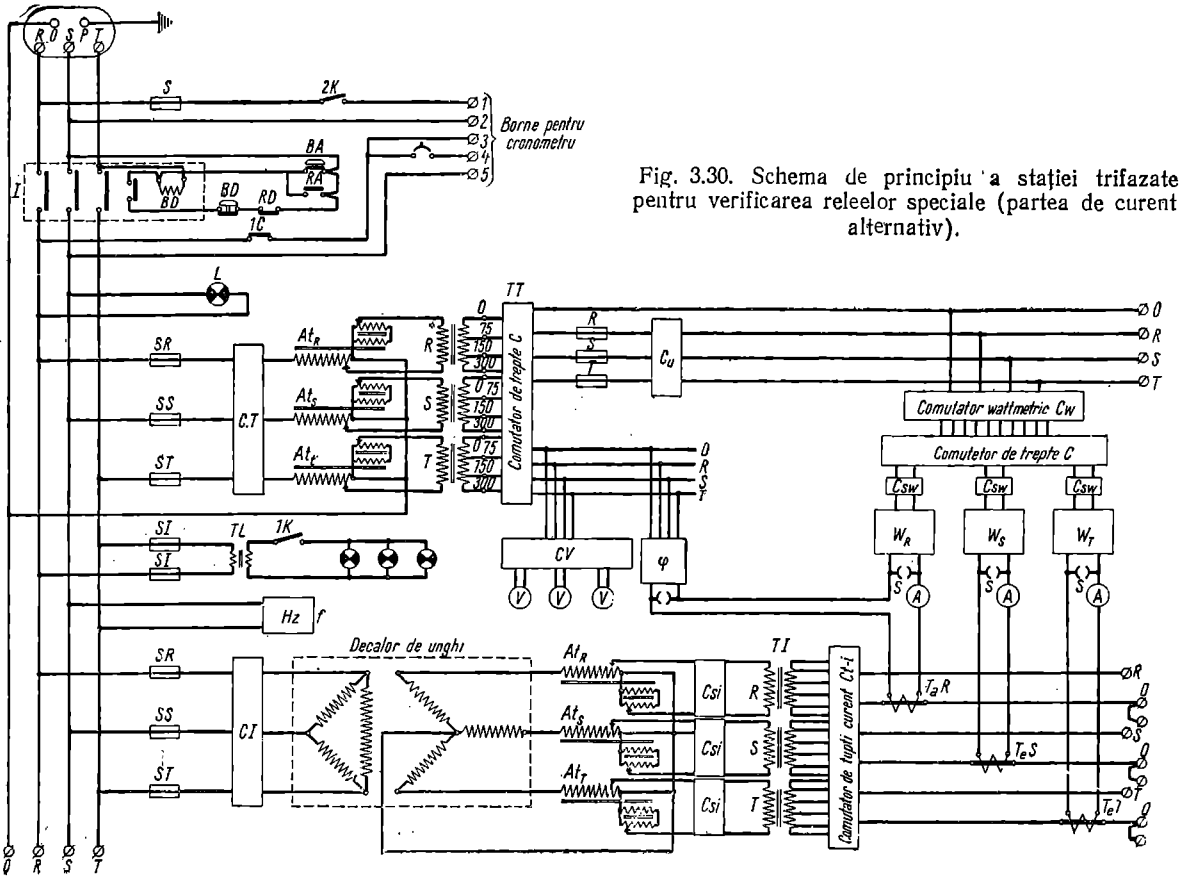


Fig. 3.30. Schema de principiu a stației trifazate pentru verificarea releelor speciale (partea de curent alternativ).

lor de măsurat și cele de comandă ale instalației. Tot în acest corp se află și siguranțele care protejează circuitele de tensiune.

— În corpul dispus în partea stîngă a operatorului se găsesc autotransformatoarele reglabile și transformatoarele etalon și principale ale părții de curent și decalorul de unghi. De asemenea se mai află în acest corp întrerupătorul principal al instalației, și siguranțele care protejează circuitele de curent și ale alimentării auxiliare.

Butoanele de reglare ale autotransformatoarelor reglabile și ale transformatoarelor de curent se află în partea superioară a fiecărui corp în parte. Autotransformatoarele reglabile sînt prevăzute cu două butoane care dau posibilitatea unui reglaj fin și unui reglaj brut.

Schema electrică a instalației cuprinde două părți distincte din punctul de vedere al curentului folosit: partea de curent alternativ (fig. 3.30) și partea de curent continuu (fig. 3.29).

Pentru măsurarea puterii se folosesc trei wattmetre de clasă 0,2, care pot fi conectate în patru moduri diferite și anume:

— măsurarea puterii active cu trei wattmetre;
— măsurarea puterii active cu două wattmetre;
— măsurarea puterii reactive cu trei wattmetre;
— măsurarea puterii reactive cu două wattmetre.

Întrucît în timpul verificării diferitelor aparate sau relee este necesar să se cunoască cu exactitate valoarea frecvenței curentului alternativ, pe panoul aparatelor de măsurat s-a prevăzut un frecvențmetru cu lamele *f*, conectat direct la rețeaua de curent alternativ.

Circuitul de curent continuu (fig. 3.29) poate fi alimentat dintr-o sursă separată, la diferite tensiuni și anume 24, 110 și 220 V.

Releul *RA* servește pentru comanda automată de anclanșare a stației iar releul *RD* pentru comanda de declanșare. Aceste relee, ca și butoanele *BA* și *BD*, servesc pentru verificarea releelor speciale (releele de reanclanșare automată, de anclanșarea automată a rezervei, de distanță etc.).

3.7.3. Alte dispozitive

În afara dispozitivelor descrise, în practică se mai folosesc și altele bazate pe diferite principii. Astfel, unele protecții sînt prevăzute cu dispozitive proprii care încearcă parțial sau com-

plet funcționarea acestora. De exemplu, protecția de distanță tip RD7 are posibilitatea de a încerca partea de curent continuu.

Unele protecții ale generatoarelor (releul de semnalizare a punerilor la pămînt rotorice sau protecția sistem Biutov contra punerilor la pămînt statorice etc.) au dispozitive proprii pentru încercare.

Pentru încercări periodice și verificări sumare ale protecțiilor maximale de curent se mai folosește în exploatare o trusă specială, care prin suprapunerea curentului său cu cel al transformatorului de măsură realizează suprasarcina necesară acționării protecției (fig. 3.31).

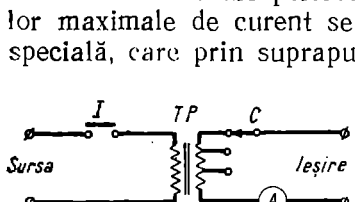


Fig. 3.31. Schema de principiu a trusei de curent suprapus.

Avantajele principale ale acestei truse sînt:

— Permite verificarea protecției maximale fără a se scoate din funcțiune instalațiile de înaltă tensiune aferente.

— Pentru instalațiile vechi și mai puțin importante pentru sistemul energetic (care nu are blocuri de încercare sau cleme speciale de încercare a protecției) bornele de ieșire ale trusei se conectează direct la clemele bobinei de curent ale releului maximal care se încearcă, fără a mai fi necesară desfacerea circuitului respectiv.

— Este o trusă simplă și ușoară, deci atît transportul cît și manevrarea ei nu ridică probleme speciale. Suprasarcina necesară acționării releului maximal este realizată cu această trusă atunci cînd se racordează bornele de ieșire ale trusei la clemele bobinei de curent ale releului care trebuie încercat.

Curentul debitat de transformatorul principal TP (v. fig. 3.31) al trusei se distribuie prin bobina releului de curent și prin transformatorul de măsură, suprapunîndu-se peste cel de sarcină normală, realizîndu-se în acest fel o suprasarcină în releu și deci acționarea acestuia.

Dezavantajele principale ale acestei truse sînt:

— Nu poate controla și măsura cu precizie valoarea curentului de acționare și de revenire a releului pe care-l încearcă, întrucît nu se poate obține variația fină a curentului.

— Folosirea trusei este exclusivă numai pentru relee maximale de curent într-o limită destul de îngustă (3÷15 A).

— Necesită în prealabil întreruperea circuitului de declanșare atunci cînd nu trebuie să se provoace declanșarea elementului protejat cu releul care se încearcă.

Datorită dezavantajelor indicate această trusă este folosită mai rar.

3.8. Dispozitive speciale pentru racordarea instalațiilor de încercat, în circuitele secundare

Încercarea sau verificarea elementelor de protecție și automatizare se pot efectua în laborator sau direct la locul de instalare al lor; fiecare dintre acestea prezintă avantaje și dezavantaje.

Întrucît unele elemente de protecție și automatizare necesită verificări periodice, la intervale scurte, încă de la proiectarea lor se ține seama de aceasta. În acest scop se prevăd dispozitive speciale, pentru a se face posibilă o racordare sigură și rapidă numai a elementului care interesează, fără a mai fi nevoie de demontarea sa din panoul respectiv.

În realitate aceste dispozitive odată prevăzute folosesc în mai multe scopuri, printre care amintim pe cele mai principale și anume:

— se scurtează timpul de verificare a elementului respectiv, întrucît nu necesită demontarea sa sau a instalației corespunzătoare;

— se evită unele greșeli de racordare în timpul încercării;

— se permite izolarea elementului de restul instalației, deci încercarea este sigură și se face numai asupra elementului respectiv; de asemenea se permite înlocuirea lui chiar în timpul funcționării restului instalației;

— se permite luarea unor măsuri speciale de precauție în momentul încercării (întreruperea posibilității de declanșare nedorită, șuntarea transformatoarelor de curent, puneri la pămînt etc.).

Dispozitivele prevăzute pentru verificarea elementelor de protecție și automatizare se împart din punct de vedere electric și după modul de racordare în circuit în două mari categorii și anume:

— dispozitive care să permită racordarea și controlul circuitelor de curent în timpul funcționării instalațiilor (care să permită înserierea unui aparat de măsură sau a unui dispozitiv de încercare, în circuitul de curent al unei protecții).

— dispozitive care să permită măsurarea sau racordarea tensiunilor în timpul funcționării instalațiilor (care necesită racor-

darea în paralel a aparatelor de măsurat sau a dispozitivelor de încercare în circuitele de tensiune). Pentru realizarea operațiilor menționate vom indica cîteva soluții pe baza unor cazuri care se întîlnesc mai des în instalațiile energetice din țara noastră. În instalațiile mai vechi se aplică pe scară largă adăugarea în plus a unui număr corespunzător de cleme de și necesare scopului propus (fig. 3.32). Pentru tensiuni se prevedea în plus clema *3*, iar pentru curenți se prevăd două cleme de șir în plus și un sistem de șuntare prin punți (la clemele *5*, *6*, *7*, *8*). Sistemul de racordare pentru circuitul de curent este astfel conceput încît să permită izolarea aparatului racordat sau introducerea unui aparat de măsurat sau de încercare fără să se întrerupă circuitul prin deconectarea de la clemă a releului încercat. În acest caz, dacă este necesar să se măsoare curentul se racordează mai întîi ampermetrul la clemele *6* și *7* și apoi se deconectează aparatul sau releul conectat la aceleași cleme.

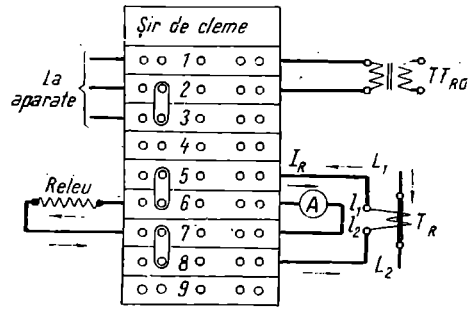


Fig. 3.32. Șir de cleme cu posibilitatea de racordare a aparatului de măsurat

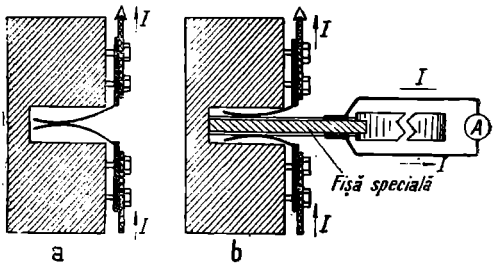


Fig. 3.33. Clemă de șir specială tip Siemens pentru înseriere în circuitul de curent:
a — în funcționare normală; b — cu dispozitivul de înseriere.

Pentru racordarea aparatelor de măsurat sau a dispozitivelor de încercat în serie cu circuitul secundar al transformatoarelor de curent se folosesc și alte sisteme (fig. 3.33, 3.34 și 3.35). În aceste cazuri se observă că prin diferite metode se pot racorda aparatele de măsurat sau aparatele de încercat în circuitul transformatoarelor de măsură.

În țara noastră se folosește un dispozitiv special denumit „bloc de încercare" care poate fi format din 2, 4 sau 6 elemente (fig. 3.36, 3.37 și 3.38).

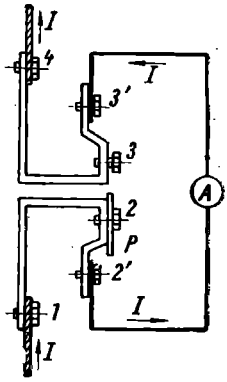


Fig. 3.34. Şir de cleme speciale cu punţi de şuntare tip Elektroscit.

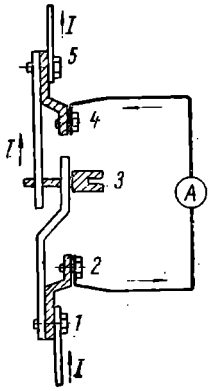


Fig. 3.35. Clemă şir specială cu şurub de şuntare tip Elektropult.

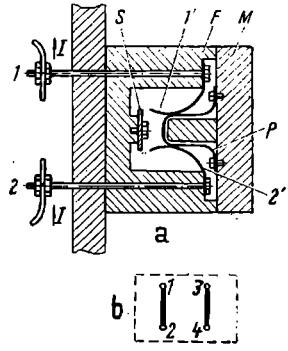


Fig. 3.36. Bloc de încercare în funcţionare normală.
a — secţiune transversală; *b* — schemă electrică.

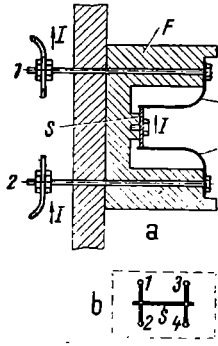


Fig. 3.37. Bloc de încercare fără partea mobilă (cu secundarele scurtcircuitate).
a — secţiune transversală; *b* — schemă electrică.

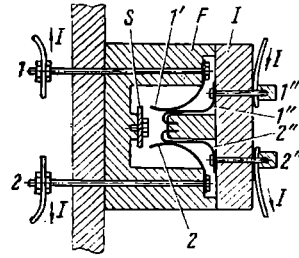


Fig. 3.38. Bloc de încercare cu partea mobilă specială pentru verificări:
1' şi 2' — plăcuţă de contact; *1 şi 2* borne de conectare; *S* — plăcuţă scurtcircuitoare normală; *1'' şi 2''* — contacte speciale pentru încercare; *1''' şi 2'''* — borne speciale pentru încercare.

După cum se vede blocul este compus din două părți, una fixă F montată pe panoul cu aparate și cealaltă mobilă M. În fig. 3.36 s-a reprezentat poziția blocului de încercare complet în timpul funcționării normale a instalației respective.

Un bloc cu două elemente se folosește conform schemei desfășurate din fig. 3.39.

Avantajele acestui bloc se pot deduce din schemele indicate. Folosirea lui în circuitele de curent permite șuntarea circuitelor de curent înspre partea transformatoarelor de măsură în mod automat la scoaterea părții mobile (fig. 3.37). Pentru încercarea protecției sau măsurarea curenților ce trec prin bloc se introduce o parte mobilă specială (notată cu *I* în fig. 3.38), care are bornele scoase în afară. Lamelele arcuitoare *1'* și *2'* sînt deplasate conform fig. 3.38 tocmai pentru a se permite înserierea unui aparat. În cazul folosirii blocului de încercare în circuitele de tensiune, principiul este același, cu deosebirea că se scoate plăcuța scurtcircuitoare (notată cu *S* în fig. 3.37) pentru a nu se arde siguranțele din aceste circuite, în timpul scoaterii părții mobile.

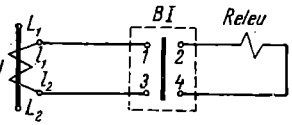


Fig. 3.39. Schema electrică desfășurată a unui bloc de încercare cu două elemente.

În scopul racordării instalațiilor de verificare la bornele releelor, se mai folosesc și alte dispozitive. De exemplu, pentru releele de distanță tip L3s sau LG1 se folosește un pieptene special, care permite racordarea comodă a trusei în momentul verificării releului.

3.9. **Instalații pentru înregistrarea perturbațiilor din sistemele energetice**

Pe măsura dezvoltării sistemelor energetice în sensul interconectării totale, perturbațiile sau avariile care înainte prezentau o importanță locală, se manifestă acum în zone mult mai mari și deci influențează în mod nefavorabil consumatori și generatoare mai multe. Cauzele acestor avarii sau perturbații pot fi multiple și pot fi generate din diferite puncte ale sistemului. În scopul eliminării și preîntîmpinării avariilor și perturbațiilor din sistem, este necesar să se acționeze asupra cauzelor inițiale de producere, cum și a celor care contribuie la dezvoltarea acestora.

Pentru a se putea cunoaște cauzele reale care au condus la apariția sau la dezvoltarea perturbației sau a avariei respective

este necesar să se analizeze fenomenele petrecute în acel moment în toate părțile afectate de acestea. Intrucît momentul în care se începe o perturbație și durata sa care în general este foarte scurtă, nu pot fi cunoscute dinainte, problema înregistrării fenomenelor care însoțesc avaria devine deosebit de dificilă. De aceea pentru studierea și cunoașterea fenomenelor care au loc înaintea și în timpul avariilor, s-a recurs la o serie de măsuri în acest scop, care în principiu sînt următoarele:

— toate manevrările în instalațiile energetice se execută după foi de manevră;

— în timpul serviciului, personalul de exploatare consemnează în rapoarte comportarea și funcționarea instalațiilor;

— se montează aparate înregistratoare în diferite puncte ale sistemului;

— se montează aparate sau diferite sisteme de semnalizare a avariilor.

Aceste măsuri constituie elemente de bază la analiza avariilor din sistem. Rapoartele personalului de exploatare au deseori un caracter subiectiv, datorită faptului că înregistrarea datelor se face ulterior. Aceasta se explică prin faptul că în momentul avariei nu este posibilă consemnarea tuturor datelor din cauza timpului extrem de scurt a spontaneității apariției și evoluției acesteia.

Nici aparatele de măsură prevăzute cu sistem de înregistrare nu sînt capabile să înregistreze variațiile rapide ale fenomenelor tranzitorii petrecute în timpul avariei.

3.9.1. **Clapete și aparate de înregistrare specială**

Elemente de bază pentru analiza avariilor sînt aparatele sau dispozitivele de semnalizare și de înregistrare special construite și montate în diferite puncte ale sistemului energetic. Dintre aparatele de semnalizare amintim toate protecțiile de suprasarcină, de scădere a frecvenței sau a tensiunii etc. montate pe elementele sistemului energetic.

In rețelele de medie tensiune și în special în posturile subterane se folosesc clapete electromagnetice speciale, montate direct pe barele de înaltă tensiune. Acestea semnalizează orice curent care depășește valoarea sa de reglaj.

Principiul de funcționare al clapetelor de semnalizare este următorul: fluxul magnetic creat în miezul de fier al clapetei de către curentul de scurtcircuit care trece prin bara de înaltă tensiune atrage o paletă mobilă atunci cînd forța datorită fluxului învinge forța resortului antagonist. Paleta mobilă desface un zăvor

vor care eliberează o clapetă ce poate fi remarcată de la distanță datorită unui semn distinctiv. Readucerea în poziție de funcționare se face cu ajutorul unei ștangi izolate.

Dintre aparatele de înregistrare, amintim că cele mai larg răspîndite în prezent sînt cele care înregistrează oscilațiile mărimilor electrice pe hîrtie (osciloperturbografe), pe peliculă de film sau pe hîrtie fotografică (oscilografe) iar în ultimul timp pe bandă magnetică (magnetoperturbografe). Caracteristica principală a acestor aparate este aceea că înregistrează variațiile rapide ale principalilor parametri electrici, atît ca valoare cît și ca formă.

3.9.2. Osciloperturbograful Mosson-Carpentier

Acest aparat, care se instalează în centrale și stații, permite înregistrarea pe o bandă de hîrtie a curbelor de variație a curentului, tensiunii și frecvenței rețelei. Înregistrarea se face numai cu cîteva fracțiuni de secundă înainte de începerea unei perturbații. Practic începerea înregistrării se comandă chiar în momentul apariției perturbației, însă datorită construcției aparatului sînt înregistrate și valorile premergătoare avariei. Principiul de construcție și de funcționare al acestui aparat se poate urmări în fig. 3.40. Mărimea care interesează este adusă la elementul de înregistrare prin transformatorul de măsură *TM* și traductorul de adaptare *TA*. Elementul de înregistrare *E* este un aparat magnetoelectric, care sesizează orice variații ale fluxului creat de curentul din bobina elementului său mobil și le transformă în oscilațiile acului înregistrator *AI*. Acesta înscrie pe un cilindru de înregistrare *CI*, care se rotește con-

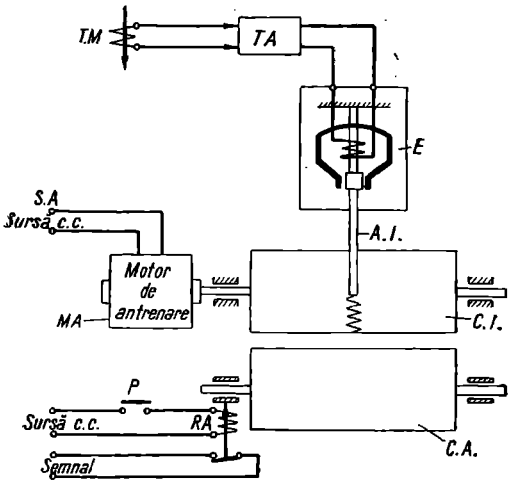


Fig. 3.40. Principiul de funcționare a osciloperturbografului:
SA — sursă de alimentare a motorului; *MA* — motor de antrenare; *TM* — transformator de măsură; *P* — contact de pornire a înregistrării.

tinuu cu o mișcare uniformă, variațiile mărimii controlate. Înregistrarea se face pe o peliculă de cerneală specială care trebuie reîmprospătată la fiecare rotație.

În cazul unei perturbații, un releu special (minimal de tensiune, maximal de curent, de secvență inversă, de variație a frecvenței etc.) comandă cu ajutorul releului *RA* alipirea cilindrului de aplicare *CA* pe cilindrul *CI*. Cilindrul *CA* este în realitate un tambur cu hîrtie pe care se imprimă oscilogramele înregistrate pe cilindrul de înregistrare. Aplicarea tamburului cu hîrtie *CA* pe cilindrul de înregistrare *CI* se face pe o generatoare care este decalată cu $^1/_3$ dintr-o rotație, față de generatoare pe care se află vîrful acului înregistrator. În acest fel aparatul înregistrează pe hîrtie fenomenele petrecute cu circa 0,5 s înaintea începerii perturbației.

Un avantaj al aparatului este acela că înregistrarea poate fi studiată imediat după funcționare. Ca dezavantaj, menționăm că are o construcție mecanică foarte complicată și necesită o întreținere foarte pretențioasă. Sistemul de reîmprospătare a peliculei de cerneală trebuie de asemenea bine întreținut.

3.9.3. Oscilograful electromecanic de fabricație sovietică tip МПО$_2$ sau Н102Т

Acest aparat este transportabil și poate fi instalat în orice centrală și stație electrică în care trebuie înregistrat perturbațiile sau fenomenele care interesează. Pentru înregistrarea timpului și a altor mărimi se folosește un adaptor special, care permite extinderea domeniilor de folosire ale acestui aparat. Oscilograful poate fi pornit și oprit de la distanță. El înregistrează fenomenele electrice pe peliculă fotografică obișnuită.

Principiul de funcționare al oscilografului electromecanic se poate urmări din fig. 3.41. Lampa *L*, trimite razele de lumină *f* prin fereastra *F* și prisma *P*, în oglinda buclei de măsură *B*. Bucla de măsură este un galvanometru magnetoelectric foarte sensibil. La bornele *I* ale sale se aplică mărimea care trebuie înregistrată.

De la oglinda buclei, razele de lumină sînt reflectate spre sistemul de înregistrare și vizionare. De data aceasta fanta urmărește fidel toate oscilațiile oglinzii buclei, care variază ca amplitudine și ca frecvență o dată cu mărimea de la intrare în buclă. Raza reflectată de oglinda buclei intră în două lentile l_1 și l_2. Din lentila l_1 ea ajunge pe un tambur *O* cu oglinzi, care trimite raza pe un ecran ce poate fi privit din afara oscilografului. Cu ajutorul acestui ecran se pot urmări imediat mărimile care se înregistrează. Din lentila l_2 raza de lumină reflectată ajunge pe un

cilindru *C* pe care se află pelicula. Cilindrul *C* și tamburul *O* sînt antrenate de un motor special cu o turație uniformă. Sistemul de antrenare poate fi comandat de la distanță, prin intermediul unor cuple electromagnetice.

Prezintă dezavantajul că înregistrarea nu poate fi studiată decît după prelucrarea peliculei. De asemenea sistemul de încăr-

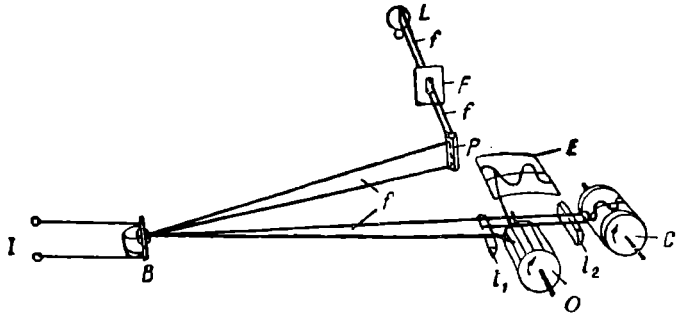


Fig. 3.41. Principiul de funcționare al oscilografului electromecanic cu bucle.

care și descărcare a peliculei și a sistemului de alimentare de la traductor la bucle, care este complicat, face ca acest aparat să poată fi folosit numai de personal specializat în acest domeniu.

3.9.4. Magnetoperturbograful

Acest aparat are următoarele avantaje principale:

— permite înregistrarea majorității fenomenelor electrice care apar în timpul perturbațiilor în sistemul energetic;

— printr-o aranjare judicioasă a capetelor de ștergere față de cele de înregistrare, se pot imprima pe banda magnetică și valori anterioare momentului începerii perturbației, cum și tot procesul de începere a avariei; acest lucru permite uneori o analiză mai concludentă a momentului începerii avariei;

— banda magnetică poate înregistra în continuu dacă este lipită cap la cap formînd un circuit închis; acest lucru permite înregistrarea oricărui fenomen și în orice moment;

— fenomenele înregistrate pot fi redate în scopul analizării lor ulterioare; redarea se face în laborator, cu aparataj special;

— datorită procedeului de ștergere a benzii, aceasta poate fi folosită de mai multe ori;

— benzile cu fenomenele înregistrate pot fi păstrate sau transpuse pe o bandă unică, în scopul evidențierii mai clare, ori de cîte ori este necesar.

Magnetoperturbograful (fig. 3.42) cuprinde următoarele părți mai importante:

— sistemul de antrenare a benzilor magnetice, cu capetele de înregistrare și de ștergere;

— sistemul de comandă al dispozitivului automatizării, de înregistrare al magnetoperturbografului (nefigurat în schemele prezentate);

— oscilograful de înaltă frecvență, necesar polarizării benzii, și alimentarea capului de ștergere cu medie frecvență (33 kHz). Cînd aparatul este în stare de funcționare, banda magnetică se deplasează prin fața capetelor de înregistrare și apoi de ștergere, în circuit închis.

În momentul apariției unei perturbații care poate modifica valorile mărimilor urmărite și înregistrate, sistemul de automatizare al dispozitivului întrerupe circuitele de ștergere ale tuturor benzilor și acționează un sistem de semnalizare propriu. Totodată, sistemul de automatizare al magnetoperturbografului acționează un releu de timp (reglat la circa 20 s), care oprește complet funcționarea lui, după înregistrarea pe bandă a perturbației. În acest mod pe toate benzile rămîn înregistrate fenomenele din timpul perturbației, care pot fi analizate cu ajutorul sistemului de redare. Datorită dispoziției capetelor de ștergere față de cele înregistrare, se obține un fel de „memorie" a aparatului.

Oscilatorul de înaltă frecvență funcționează cu 33 sau 60 kHz și servește pentru alimentarea capetelor de ștergere și pentru premagnetizarea circuitelor de

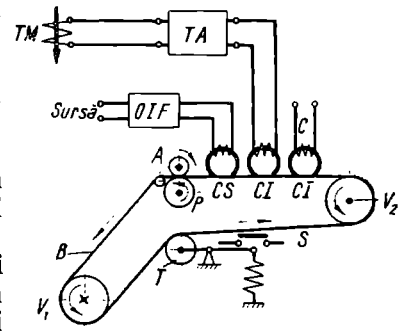


Fig. 3.42. Principiul de funcționare al magnetoperturbografului (partea de înregistrare):

TM — transformator de curent; *TA* — traductor de adaptare; *CI* — cap de înregistrare; *CS* — cap de ștergere; *B* — bandă magnetică; *A* — ax de antrenare; *P* — rolă de presare; V_1 și V_2 — role volant; *T* — rolă de întindere a benzii; *S* — contact de semnalizare a ruperii benzii; *OIF* — oscilator de înaltă frecvență.

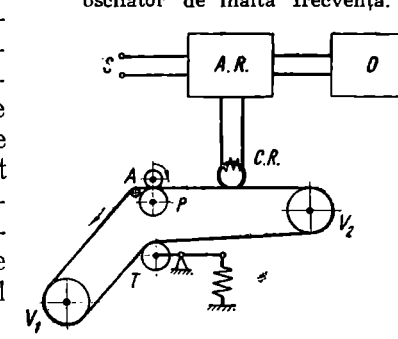


Fig. 3.43. Principiul de funcționare al magnetoperturbografului (partea de redare):

S — sursă pentru amplificator; *AR* — amplificator de redare; *CR* — cap de redare; *O* — oscilograf de înregistrare.

înregistrare, în scopul îmbunătățirii condițiilor de înregistrare. Sistemul de redare reprezentat în fig. 3.43 se compune dintr-un dispozitiv mecanic de antrenare, identic cu cel folosit pentru înregistrări. Pentru redare se poate folosi capul de înregistrare sau un cap special de redare. Un amplificator electronic special amplifică semnalele de redare; cu ajutorul unui osciloscop sau oscilograf se pot analiza înregistrările de pe bandă.

Dintre dezavantajele acestui sistem amintim:

— nu poate înregistra variațiile unui curent continuu;

— la redare nu se pot păstra identice faza și amplitudinea fenomenului înregistrat;

— fenomenul înregistrat nu poate fi studiat imediat ci necesită un anumit timp și un aparataj special pentru redarea și prelucrarea materialului respectiv.

4. EXPLOATAREA INSTALAȚIILOR DE PROTECȚIE PRIN RELEE ȘI AUTOMATIZARE

4.1. Generalități

O condiție esențială în îndeplinirea rolului pentru care sînt prevăzute instalațiile de protecție prin relee și automatizare este menținerea lor în stare de funcționare, pentru a interveni corect în cazul apariției diferitelor perturbații în sistemul energetic. Faptul că defectele nu sînt periodice sau sistematice ci întîmplătoare și că au cele mai variate aspecte îngreunează condițiile de funcționare corectă a instalațiilor de protecție prin relee și în multe cazuri chiar aprecierea modului lor de funcționare. Tocmai datorită acestor greutăți, pentru mărirea siguranței de funcționare a instalațiilor de protecție prin relee și automatizare, în tehnica de specialitate s-au elaborat instrucțiuni metodice pentru verificarea și încercarea acestor instalații. S-a dovedit că buna lor funcționare este în funcție de modul cum sînt întreținute sau verificate.

De asemenea o contribuție importantă în buna întreținere o are personalul însărcinat cu aceasta, care trebuie să aibă cunoștință și experiență îndelungată în acest domeniu.

Asigurarea unei exploatări judicioase a instalațiilor de protecție prin relee și automatizare nu este posibilă fără utilajul și sculele necesare efectuării tuturor probelor sau eventualelor reparații ce se impun (cap. 3).

Fiecare echipă de verificare trebuie să fie înzestrată în mod obligatoriu cu o trusă de scule și aparate, care să conțină minimum următoarele utilaje necesare:

— 6 șurubelnițe de diferite mărimi (2—10 mm);
— 2 patente cu mînere izolante;
— 4 clești diferiți (cu fălci late, rotunde, pentru tăiat sîrmă, dezizolat etc.);
— 1 trusă de chei fixe pentru piulițe de 3—18 mm;
— 1 trusă de chei tubulare de 3—18 mm;

— 3 pensete de diferite mărimi (una antimagnetică);
— 1 foarfecă pentru tăiat carton sau hîrtie;
— 1 foarfecă pentru tăiat tablă;
— 2 cuțite pentru tăiat sau dezizolat conductoare;
— 2 ciocane de lipit cu cositor, pentru diferite tensiuni și puteri;
— 1 metru de lemn sau riglă izolată pentru măsurat;
— 1 clește pentru plombat;
— 1 creion pentru încercat tensiunea;
— 1 lampă portativă pentru iluminat;
— 2 cordoane de alimentare (bi sau trifilare) de 20—40 m lungime și secțiune de 1,5 sau 2,5 mm^2;
— 20—40 cordoane de conexiuni (flexibile), cu banane la capete, de lungimi diferite (0,5—4 m);
— 10—20 papuci pentru conexiuni la aparate;
— 10—20 cleme speciale de prindere, tip crocodil;
— 2—4 întrerupătoare sau separatoare (hebluri) diferite;
— 1 ohmmetru cu citire directă;
— 1 pereche telefoane portative (numai receptorul și microfonul) cu o baterie de 4—6 V;
— 2 inductoare de 500 și 1 000 V;
— 2 aparate de măsurat universale (preferabil tipul AVOMET);
— 2 blocuri de încercare speciale pentru racordarea instalațiilor de verificare a protecției (partea mobilă specială);
— 1 autotransformator reglabil de 0—250 V, max. 8A.

În ce privește aparatele de măsură, tipul și numărul lor este în funcție de natura și volumul verificărilor programate. De asemenea utilajul corespunzător încercărilor respective trebuie să se adauge la cele enumerate.

Fiecare echipă este bine să aibă un transformator de 220/110/24 V și 200—300 VA pentru iluminat care poate servi și pentru furnizarea curenților necesari încercării protecției, atunci cînd se defectează sau lipsește unul dintre utilajele speciale. Nu trebuie să lipsească din trusa de scule a echipei de verificări nici unele piese de rezervă pentru diferitele tipuri de relee. În această categorie se recomandă în special următoarele: contacte mobile sau plăcuțe de argint pentru contactele releelor intermediare tip RI sau pentru releele tip RT sau RC, roți dințate pentru relee de timp etc., piese care se uzează destul de frecvent în exploatare.

In afară de cele arătate mai sus, echipele de verificări mai trebuie să posede un minimum de material documentar și anume:

— instrucțiunile de verificare și reglare a diferitelor tipuri de relee, elaborate în întreprinderea respectivă;

— schemele de principiu și montaj ale instalației care se verifică;

— parametrii de reglaj ai protecției care se verifică;

— cărți de specialitate.

4.2. Punerea în funcțiune a instalațiilor de protecție și automatizare

4.2.1. Probleme de organizare

In scopul executării complete și de bună calitate a încercărilor cum și a punerii la punct a oricărei instalații de protecție prin relee și automatizare, trebuie să se respecte în principiu următoarea succesiune a operațiilor de verificare:

Organizarea lucrului. Prin aceasta se înțelege delimitarea precisă a funcțiunilor și răspunderii ce revin fiecărui participant la aceste lucrări, cum ar fi: cine scoate din funcțiune partea de înaltă tensiune a instalației, cine răspunde de calitatea verificărilor, cine are competența să verifice instalațiile de protecție și automatizare etc.

Consultarea documentațiilor. Prin aceasta înțelegem studierea schemelor de principiu sau de montaj ale instalațiilor care se verifică, cu modificările făcute la zi a buletinului de verificare anterioară a instrucțiunilor speciale de exploatare ale acestor instalații și a altor observații sau adnotări speciale, dacă există.

Pregătirea utilajului de încercare și a aparatelor de măsurat necesare.

Verificarea aspectului exterior. Prin aceasta înțelegem verificarea vizuală a calității execuției din punct de vedere mecanic și constructiv a elementelor care compun instalația ce se verifică.

Verificarea izolației

Verificarea parametrilor electrici ai instalației propriu-zise. Această verificare se execută în mai multe etape și anume:

— fără curent: marcajul — schema fiecărui element separat;

— cu curent: partea alimentată în curent continuu, în ansamblu;

— cu curent: partea alimentată cu tensiune și curent alternativ, în ansamblu;

— încercarea completă din primar, din secundar sau pe viu.

Punerea în funcțiune (darea în exploatare)

Operațiile de verificare enumerate trebuie respectate în mod obligatoriu pentru orice fel de instalație de protecție prin relee și automatizare cu completările specifice fiecărui tip de instalație stabilite prin instrucțiunile special elaborate pentru aceasta.

Se întîmplă uneori să fie tratată cu mai puțină atenție verificarea unor elemente auxiliare dar de mare importanță, cum ar fi cazul bateriei de acumulare cu instalația sa de încărcare, semnalizările centrale etc.

4.2.2. **Probleme tehnice**

Dezvoltarea rapidă a industriei energetice din țara noastră a ridicat unele probleme noi în ce privește modul de punere în funcțiune a noilor unități construite. De exemplu, pentru marile centrale electrice sau stații de interconexiune și transformare a apărut pe lîngă necesitatea creării de cadre specializate în acest domeniu și necesitatea stabilirii unor metode noi și corespunzătoare lucrărilor de punere în funcțiune. Ca regulă generală și în condiții normale, se recomandă să se facă în ordinea indicată următoarele verificări:

— *Verificarea completă din toate punctele de vedere a bateriei de acumulatoare și a instalațiilor anexe*, începînd cu plăcile din acumulatoare cu bornele de racordare a bateriei și terminînd cu baretele de curent continuu conectate la cel mai îndepărtat punct al centralei sau stației respective. Se va insista în special asupra verificării izolației în curent continuu sau alternativ și a polarității baretelor. Este deosebit de important ca aceste verificări să fie efectuate complet și să nu se admită punerea în funcțiune a instalației de acumulatoare decît după terminarea definitivă a tuturor prevederilor din proiect sau din instrucțiuni, întrucît eventualele remedieri nu se mai pot face atît de ușor ulterior după punerea sub tensiune a bateriilor. Este evidentă marea importanță a acestor instalații întrucît ele servesc întreaga instalație de circuite secundare din centrala sau stația respectivă. Deși de importanță secundară, totuși nu trebuie neglijată instalația de încărcare a bateriei de acumulatoare.

— *Verificarea completă a semnalizărilor centrale din întreaga instalație*. Prin semnalizări centrale se înțelege atît panoul aferent acestei instalații cît și toate baretele de semnalizare existente (semnalizare de prevenire, semnalizarea clapetei neridicate, semnalizarea punerii la pămînt etc.). Absolut toate baretele

care nu au fost luate în considerare la încercarea bateriei trebuie încercate cu această ocazie. Încercarea acestor barete se va face în curent continuu sau alternativ, cu o deosebită grijă întrucît o dată instalația intrată în funcțiune (chiar parțial), este foarte greu să se mai depisteze un eventual defect în aceste locuri. O verificare atentă trebuie efectuată în legătură cu notarea și vopsirea baretelor în conformitate cu proiectul sau cu PET.

Cu această ocazie este bine să se încerce și să se verifice toate baretele existente în centrală sau stație, chiar dacă nu sînt în legătură cu semnalizările centrale, așa cum este cazul cu baretele de sincronizare, diferite barete de blocaj sau altele. Precizăm că toate aceste verificări se efectuează cu baretele libere adică neracordate la elementele de linie pentru care sînt destinate. Racordarea se face numai după ce se verifică și există siguranța că instalația corespunzătoare fiecărui element este în ordine (pentru a nu se introduce într-o instalație corectă elemente neîncercate).

— *Verificarea completă a instalațiilor de protecție și măsură a tuturor elementelor comune din stația respectivă.* În această categorie intră celulele de măsură și de sincronizare, care au circuite în toată stația și deci posibilități de racordare prin diferite legături cu fiecare element din centrala sau stația respectivă. Se va acorda o deosebită atenție circuitelor de tensiune și în special așa-numitei bucle de tensiune, care trebuie verificată cu toată atenția.

În afara verificărilor de izolație și de marcare, este indicat ca bucla de tensiune să se încerce cu tensiune alternativă trifazată (20—30 V între faze) pentru a se verifica dacă legăturile sînt corecte (la bornele marcate corespunzător) pentru fiecare element în parte din toată centrala sau stația care se pune în funcțiune. Această încercare specială se efectuează cu o deosebită grijă din punctul de vedere al protecției muncii, întrucît printr-o greșeală în acest caz se poate aplica tensiune înaltă în circuitele primare datorită unei alimentări inverse a transformatoarelor de măsură. În scopul evitării acestor eventualități de alimentare inversă în tot timpul acestor încercări (fig. 4.1) se iau următoarele măsuri:

— se montează scurtcircuitoare la bornele primare ale transformatoarelor de tensiune;

— se întrerup legăturile transformatoarelor de măsură atît la partea primară cît și la cea secundară, prin toate elementele posibile (separatoare, siguranțe și chiar clemele circuitelor secundare);

— alimentarea cu tensiune alternativă pentru încercarea pe viu a buclei de tensiune se face direct de la plecarea din secundarul transformatoarelor de măsură, fără ca acesta să fie racordat.

Existența tuturor tensiunilor și respectarea fazelor se verifică la toate bornele de tensiune și la clemele notate special din șirul de cleme al fiecărui element în parte. De asemenea se verifică cu această ocazie baretele de sincronizare din toată centrala, inclusiv panoul de sincronizare de la pupitrul de comandă.

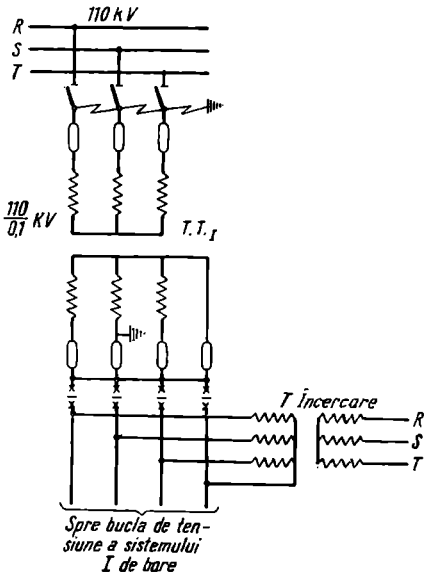


Fig. 4.1. Schema de încercare pe viu a buclei unui sistem de bare.

— *Verificarea completă a instalațiilor de protecție și automatizare a cuplelor din stația sau centrala respectivă.* Trebuie verificate de asemenea circuitele care au legătură cu întreaga instalație (circuitele de blocare a separatoarelor în funcție de poziția cuplei, circuitele de anclanșare sau declanșare în funcție de frecvență (tranșele de sacrificiu — instalațiile AAR etc.).

— *Verificarea completă a fiecărui element component al stației* (linie, generator sau transformator). Ordinea în care se verifică elementele din stație este în funcție de necesitățile sistemului energetic sau de cele locale.

4.3. Verificarea în laborator a elementelor de protecție și automatizare

În laborator se pot crea condiții mult mai complete și mai concludente de verificare a elementelor componente ale instalațiilor de protecție și automatizare. Este mai greu să se simuleze în laborator întreaga instalație care trebuie încercată, după cum la locul de montare a instalației este greu să se creeze aceleași posibilități ca în laborator. În laborator se pot verifica și studia

toate acele elemente sau părți din instalația respectivă, ce se pot demonta și transporta de la locul de instalare pînă în laborator. Nu se pot transporta în laborator unele elemente (întrerupătoare, transformatoare de măsură etc.), care se verifică prin încercări la fața locului, împreună cu întreaga instalație.

Elementele cele mai caracteristice care se pot verifica în laborator sînt releele de toate tipurile, împreună cu anexele necesare funcționării lor în condiții normale. Ca anexe întîlnim în marea majoritate a cazurilor, rezistențe, inductanțe și capacități sub forma unor piese detașate de releul principal și fără de care nu se pot efectua încercări complete.

Avantajul cel mai important al studierii sau verificării în laborator a elementelor de protecție și automatizare constă în faptul că se poate trage o concluzie sigură și precisă, datorită condițiilor ce se pot asigura.

Verificările sau studiile în laborator se pot efectua după un program mai larg și într-un timp mai lung decît atunci cînd instalația respectivă rămîne pe loc și este scoasă din funcțiune pentru o anumită perioadă. De asemenea, eventualele reparații sau modificări ce apar în timpul verificării se pot realiza în condiții incomparabil mai bune și mai comode în laborator. Evident este și faptul că în laborator se poate urmări cu mai multă ușurință funcționarea diferitelor părți componente ale elementului și în alte poziții sau condiții decît cele de pe teren. Lipsa prafului, a umidității, a agenților chimici, a cîmpurilor magnetice sau electrice și a altor factori care pot influența în rău funcționarea releelor face ca verificarea în laborator să fie întotdeauna preferată.

Sursele și utilajele de care dispun în general laboratoarele sînt mai sigure și mai puternice, astfel încît și din acest punct de vedere verificările în laborator sînt întotdeauna de preferat.

Volumul și natura verificărilor depind atît de locul în care se efectuează cît și de tipul și scopul acestora.

În laborator se verifică de obicei, așa cum am arătat, elementele de protecție care în general sînt relee maximale de curent, relee de timp, relee intermediare, relee direcționale și altele. Verificarea oricărui tip de releu cuprinde două capitole importante și anume:

— verificarea părții mecanice;

— verificarea părții electrice.

Verificarea părții mecanice care nu diferă în general de la releu la releu se referă la: etanșeitate; starea șuruburilor de la bornele exterioare; jocul în lagăre al părților mobile; starea con-

tactelor; starea resoartelor spirale, starea diferitelor piese de susținere sau de prindere a părților componente ale releului, starea mecanismului de temporizare al releelor de timp etc.

Verificarea părții electrice are comun pentru orice tip de releu, numai verificarea izolației, în rest diferă de la unul la altul în funcție de tipul releului respectiv. Amănunte și precizări în legătură cu valoarea tensiunii de încercare a izolației releelor sînt reglementate prin instrucțiunile speciale ale fabricii constructoare. Verificarea și reglarea caracteristicii electrice este proba cea mai importantă a oricărui tip de releu.

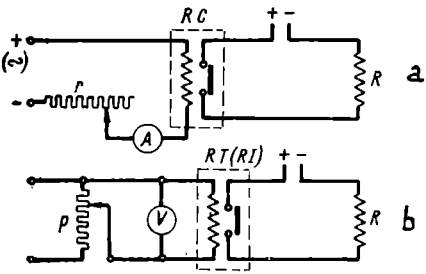


Fig. 4.2. Verificarea caracteristicilor electrice ale releelor:
a — de curent; b — de tensiune sau intermediar.

La releele intermediare de exemplu tip RI sau altele asemănătoare sînt importante următoarele probe electrice:

— închiderea sau deschiderea sigură și simultană a tuturor contactelor electrice; verificarea se efectuează la tensiunea și sarcina prescrisă de fabrică;

— tensiunile de acționare și de revenire ale releului; aceasta se verifică cu curent continuu sau alternativ, în funcție de construcția releului.

Schema de verificare a părții electrice a releelor intermediare sau de tensiune este aceea din fig. 4.2, *b*.

La releele maximale sau minimale de curent sau de tensiune (tip RC sau RT) verificarea părții electrice este în principiu identică cu cea a releelor intermediare cu deosebirea că proba a doua se repetă pentru fiecare punct al scalei. Evident că la releul de curent se verifică curentul de acționare și de revenire. Pentru aceste tipuri de relee este important să se verifice și raportul dintre curenții sau tensiunile de acționare sau de revenire, denumit și „coeficient de revenire".

Schemele de verificare electrică a releelor de curent și tensiune sînt reprezentate în fig. 4.2, în cazul cînd se folosesc reostate și potențiometre. Sursa folosită de curent continuu sau alternativ este în funcție de tipul releelor care se verifică.

Contactele releelor se încearcă la închiderea sau la deschiderea circuitului comandat de releu în schema de protecție sau cu o sarcină echivalentă și la tensiunea corespunzătoare. Închiderea sau deschiderea trebuie să fie precise și sigure, fără vibrații sau

scînteieri. Pentru releele maximale cu contacte normal deschise verificarea închiderii contactelor se face prin mărirea curentului în bobina releului, începînd de la 5% peste valoarea reglată pînă la de 5 sau de mai multe ori valoarea reglată (atît cît permite instalația de încercare a releelor și stabilitatea lor termică).

Verificarea și reglarea caracteristicilor electrice ale releelor direcționale este mai complicată întrucît trebuie să se urmărească acționarea contactelor releului pentru variații de unghi, de curent și de tensiune. Dăm spre exemplificare schema de verificarea a unui releu direcțional tip IMB 178 (fig. 4.3). Cu ajutorul acestei scheme se verifică:

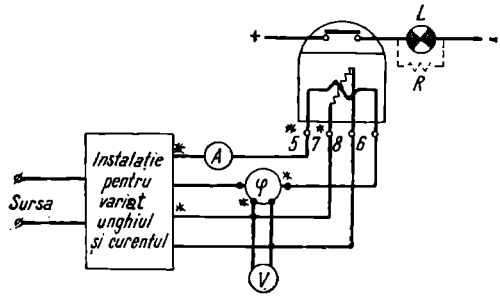


Fig. 4.3. Schema de verificare a releelor direcționate tip IMB178.

— caracteristica de funcționare, închiderea sau deschiderea contactului în funcție de unghiul de defazaj dintre tensiune și curent numită și caracteristică unghiulară; la acest tip de releu, caracteristica unghiului pentru o alimentare cu 100 V în circuitul de tensiune și 5 A în circuitul de curent este indicată în tabela 4.1 sau în diagrama din fig. 4.4; în acest fel se poate determina unghiul de sensibilitate maximă sau unghiul interior al releului direcțional care, pentru cazul dat este de 70°;

— caracteristica de sensibilitate a releului $U=f(I)$, pentru unghiul de sensibilitate maximă; în schema de mai sus vom menține unghiul la 70° inductiv și variind tensiunea în trepte fixe, vom nota ca în tabela 4.2, valorile curentului la care releul își închide contactul; teoretic această caracteristică ar trebui să fie o hiperbolă și în mod practic rezultatele se apropie destul de mult de această curbă; abaterile care intervin se datoresc în mare parte erorilor aparatelor de măsurat și citirii.

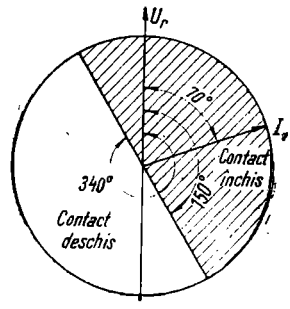


Fig. 4.4. Diagrama de funcționare a releului direcțional tip IMB178.

— verificarea închiderii simetrice a fluxurilor releului, în scopul evitării închiderii de la sine a contactului; această probă este specifică releului direcțional de inducție tip IMB, care își poate închide

Tabela 4.1

φ	159°—341°	339°—161°
Poziția contactului	deschis	închis

contactul atunci cînd întrefierurile celor patru poli nu sînt simetrice și releul este alimentat numai cu curent sau tensiune (fără să aibă condiții de acționare), verificarea acestei asimetrii constă din două probe și anume:

— cu tensiune nulă la bornele de tensiune ale releului (însă cu bornele scurtcircuitate sau închise pe o rezistență de valoare mică) și cu curent de 4—10 ori mai mare decît curentul nominal al circuitului de curent; în acest caz echipajul mobil nu trebuie să închidă contactul și nici să aibă tendință de deplasare;

Tabela 4.2

U_v	100	50	20	10	5	3	2	1	nu mai închide
I_A	0,01	0,02	0,05	0,1	1,95	3,2	4,5	10	20 —

— cu curent nul în circuitul de curent al releului (însă cu bornele de curent scurtcircuitate) și cu tensiune ridicată pînă la de 1,5 ori valoarea nominală, se urmărește ca echipajul mobil să nu se rotească și deci să nu se închidă contactul.

În cazul cînd releul este dereglat, există o asimetrie în întrefierurile polilor săi și releul poate să-și închidă contactul la una din probele de mai sus. Este evident că în asemenea cazuri se vor lua măsurile corespunzătoare de remediere. În mod practic, în cazul amintit remedierea asimetriei se face prin modificarea poziției *șîmburelui de tole* din interiorul tamburului de aluminiu (care are o teșitură destinată special pentru aceasta), pînă cînd releul nu mai prezintă anomalia semnalată.

4.4. Verificarea transformatoarelor de măsură

Transformatoarele de măsură pentru protecție pot fi privite din două puncte de vedere și anume:

— ca elemente componente ale instalației de înaltă tensiune;

— ca elemente componente ale schemelor de protecție și automatizare.

Pentru primul caz, încercările sînt bine precizate în instrucțiunile privind aceste elemente. Ele se efectuează în special la

punerea în funcțiune sau la înlocuirea elementelor care se defectează sau devin suspecte. De regulă probele au scopul de a verifica mai mult dacă transformatorul corespunde din punctul de vedere al izolației, clasei de precizie (eroarea de raport și de unghi) etc. Nu întotdeauna echipele care verifică instalația primară, verifică și corecta racordare la circuitele secundare. Această verificare este obligatorie pentru echipele care se ocupă cu instalația de protecție și automatizare. Pentru o siguranță mai mare asupra modului cum sînt realizate schemele circuitelor secundare ale unor protecții speciale (diferențială, direcțională, de distanță, controlul sincronismului etc.) este necesară întotdeauna verificarea transformatoarelor de măsură care intră ca element component al schemei de protecție. Astfel, pentru protecțiile maximale de curent racordate în secundarul transformatorului de curent este obligatorie verificarea raportului de transformare al acestuia; această verificare nu este de mare precizie, ci are mai mult scopul de a evita greșeli de raport (trebuie verificat dacă transformatorul a fost conectat pe raportul de transformare stabilit în calculele reglajelor protecției).

Pentru protecțiile direcționale sau diferențiale la care interesează sensul energiei electrice măsurate cu transformatoarele respective, pe lîngă verificările arătate mai sus se verifică și modul cum a fost respectată polaritatea acestora, în funcție de schema protecției și de amplasarea lor în instalația de înaltă tensiune. În sfîrșit este importantă și alegerea înfășurărilor secundare ale transformatoarelor de curent pentru măsură sau protecție. De exemplu, trebuie controlat să nu se facă conectarea protecției diferențiale în înfășurările secundare ale transformatoarelor de curent destinate pentru măsură întrucît aceasta poate duce la acționarea greșită a protecției. Tot din acest punct de vedere trebuie verificate foatre atent conexiunile tuturor transformatoarelor intermediare de curent sau tensiune folosite în schemele de protecție și automatizare.

Pentru realizarea practică a celor menționate în cele mai multe cazuri nu sînt necesare aparate speciale sau instalații complicate, ele putîndu-se efectua ușor cu aparatele de măsurat descrise mai sus, care intră în dotația obligatorie a oricărui laborator sau echipă de verificare.

Încercările cele mai frecvente care se efectuează asupra transformatoarelor de măsură utilizate în schemele de protecție și automatizare au ca scop:

— verificarea raportului de transformare;

— verificarea polarității bornelor transformatoarelor de măsură sau a grupelor de conexiuni ale celor de tensiune;

— verificarea caracteristicii, tensiune-curent sau curbei de magnetizare a transformatoarelor de curent.

Verificarea raportului de transformare ale transformatoarelor de curent se face cu una dintre schemele din fig. 4.5 și 4.6, care cuprind: o sursă de alimentare, dispozitivul prin care se

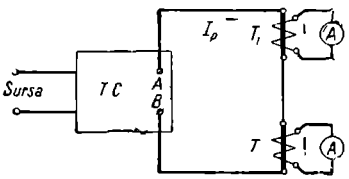


Fig. 4.5. Schema de încercare a transformatorului de curent.

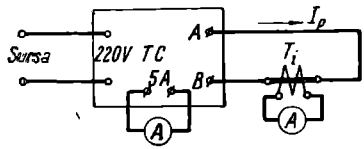


Fig. 4.6. Schema de încercare a transformatorului de curent cu trusa de curenți mari (care are transformatoare etalon).

variază curentul pînă la valoarea nominală a transformatorului *TC*, un transformator etalon *T* pentru măsurarea a curentului, la bornele căruia este conectat un ampermetru; în serie cu transformatorul de măsură etalon este conectat transformatorul de măsură *Ti* care se încearcă, la bornele căruia este conectat un ampermetru.

Raportul de transformare se calculează în acest caz cu formula

$$n_c = \frac{I}{i} \tag{4.1}$$

Dacă raportul de transformare al transformatorului etalon coincide cu al celui de încercat, se compară numai indicațiile celor două ampermetre conectate la bornele acestora.

Verificarea raportului de transformare al transformatoarelor de tensiune se face în două moduri:

— cele care au rapoarte de transformare mari (sînt conectate direct la înaltă tensiune), se verifică după schema din fig. 4.7; raportul de transformare este ușor de calculat cu formula:

$$n_t = \frac{U}{u}; \tag{4.2}$$

— cele de tensiune joasă, de rotirea fazei etc., care au raportul de transformare apropiate de unitate, se verifică după schema din fig. 4.8, iar raportul de transformare se calculează cu formula

$$n = \frac{V_1}{V_2}, \tag{4.3}$$

Ampermetrul este necesar pentru a se controla curentul absorbit de transformator în gol.

Verificarea polarității transformatoarelor de măsură se poate face în mai multe feluri, în funcție de mijloacele de care se dispune în momentul respectiv. Cel mai folosit sistem este reprezentat în fig. 4.9. Această metodă are ca principiu determinarea polarității sursei de curent continuu E, cu ajutorul unui aparat magnetoelectric V, prin intermediul transformatorului care se încearcă T_i. Pentru transformatoarele de curent obișnuite cu raportul

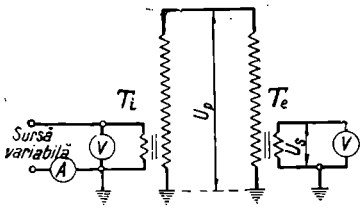


Fig. 4.7. Schema de încercare a raportului de transformare al unui transformator de tensiune.

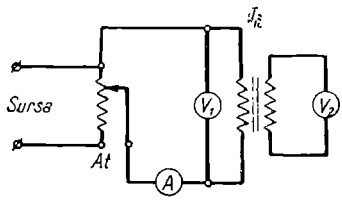


Fig. 4.8. Schema de verificare a raportului de transformare al unui transformator intermediar

de transformare 100—600/5 A se poate folosi o pilă electrică uscată de 2—4 V și un aparat de măsurat magnetoelectric cu limitele 3—30 V. Este indicat a se folosi aparate de măsurat cu grad mare de amortizare, pentru a nu se induce în eroare operatorul datorită imperfecțiunii contactului butonului B în momentul stabilirii curentului. Se realizează schema din fig. 4.9, în care există două situații și anume:

— în cazul cînd polaritatea coincide cu notațiile indicate pe bornele primare și secundare, la apăsarea butonului B deci la stabilirea circuitului, aparatul V trebuie să măsoare o tensiune electromotoare (de scurtă durată) în sensul pozitiv (spre dreapta), iar la eliberarea butonului, deci la întreruperea circuitului, indicațiile aparatului V trebuie să fie negative (spre stînga);

— în cazul cînd polaritatea nu coincide cu notațiile indicate pe bornele primare și cu cele secundare, comportarea aparatului este inversă decît mai sus.

Pentru a nu se deteriora aparatele de măsurat magnetoelectrice obișnuite (care au punctul O în stînga scalei) este bine să se folosească pentru această probă aparate cu punctul O la mijloc deci cu scală dublă.

Determinarea polarității se mai poate face și cu ajutorul unui wattmetru sau a unui alt aparat care indică sensul curentului (fig. 4.10). In acest caz circuitul de curent al wattmetrului se

leagă succesiv în circuitele din secundarul transformatorului etalon, după care se înseriază în circuitul secundar al transformatorului care se încearcă. În cazul în care polaritățile sînt corect notate, indicațiile wattmetrului au același semn în ambele măsurări. În cazul în care polaritatea transformatorului

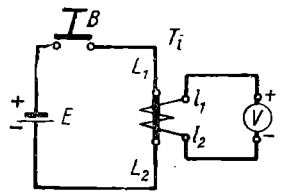


Fig. 4.9. Schema de verificare a polarității transformatoarelor de curent cu voltmetrul și pila electrică.

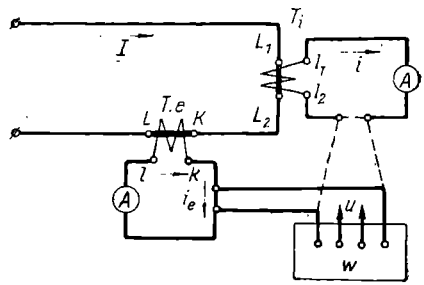


Fig. 4.10. Schema de verificare a polarității transformatoarelor de curent cu wattmetrul.

nu este corectă, indicațiile wattmetrului vor avea semne diferite în cele două măsurări. Această probă este concludentă, însă după cum se vede necesită un montaj mai complex, cu aparate mai multe; pentru acest motiv ea nu este mult folosită în practică.

Metodele de determinare a polarității transformatoarelor de măsură a tensiunii sînt în principiu asemănătoare cu ale celor de curent.

Determinarea caracteristicii $U=f(I)$ (caracteristica volt-amper) se face cu ajutorul schemei din fig. 4.11. Cu ajutorul autotransformatorului reglabil *At* se poate obține o tensiune variabilă de la *O* pînă la valoarea tensiunii nominală a sursei de alimentare. Cu ampermetrul și cu voltmetrul se măsoară curentul și tensiunea necesare magnetizării înfășurării secundare a transformatorului de curent, atunci cînd înfășurarea primară este deconectată.

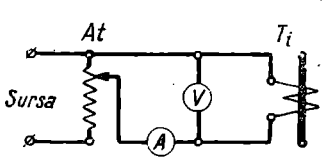


Fig. 4.11. Ridicarea curbei tensiune-curent a transformatoarelor de curent.

Înainte de a se începe această încercare este bine să se controleze izolația înfășurărilor transformatorului. Trebuie să se deconecteze legătura la pămînt a înfășurării secundare în momentul măsurării, pentru a se evita

suprasolicitarea ei din cauza unei greșeli de montaj sau de manevrare. Se recomandă ca măsurările să înceapă de la valori mici și să nu depășească decît pentru scurt timp parametrii nominali ai transformatorului măsurat. În cazul cînd transformatorul este bun, curba de magnetizare (fig. 4.12) are forma *I*, iar cînd el este defect are forma *II*.

Pentru compararea ulterioară a stării transformatorului după o funcționare îndelungată este necesar a se cunoaște forma curbei de magnetizare la punerea în funcțiune a transformatoarelor.

Sînt unele cazuri cînd este necesar să se compare între ele caracteristicile transformatoarelor de curent sau intermediare, pentru a se putea hotărî asupra folosirii lor raționale. Acest lucru se întîmplă în cazurile protecțiilor diferențiale sau al filtrelor de secvență homopolară. Este posibil ca măsurările efectuate ca mai sus să nu fie suficient de concludente, acest lucru referindu-se în special la caracteristica tensiune-curent, pe care se contează cel mai mult. Aceasta se poate datora fie erorilor aparatelor de măsură folosite, fie folosirii unor aparate diferite pentru măsurări separate ale transformatoarelor. Pentru obținerea datelor necesare unor concluzii mai sigure se recurge la alte măsurări mai speciale. Una dintre metodele cele mai folosite pentru alegerea a două transformatoare identice este indicat în fig. 4.13. Aparatul de măsurat conectat la înfășurările secundare ale transformatoarelor *T*1 și *T*2 trebuie să permită măsurări între limite foarte largi (de la dublul valorii nominale pînă la zeci de miliamperi). Totodată rezistența interioară a aparatului nu trebuie să fie mai mare decît cea a unui releu de curent sau diferențial care se folosește în schemele de protecție, chiar pentru domenii de măsurare de ordinul miliamperilor.

Este evident că pentru două transformatoare identice, curentul măsurat de ampermetrul conectat ca în fig. 4.13 nu depășește valori de zeci de miliamperi, atunci cînd în primar circulă

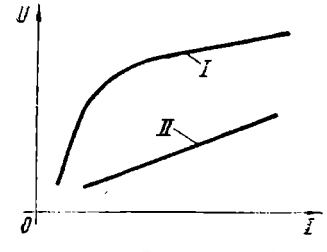


Fig. 4.12. Forma curbelor tensiune-curent.

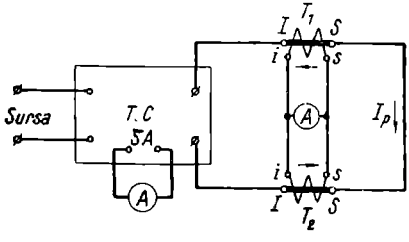


Fig. 4.13. Compararea identității transformatoarelor de curent.

curentul nominal al transformatoarelor încercate. În caz contrar diferența este mult mai mare. Dintr-un lot mai mare se aleg bineînțeles transformatoarele care dau cea mai mică diferență.

Este recomandabil să se verifice și încărcarea circuitelor transformatoarelor. Pentru transformatoarele de curent este ușor de calculat (în cazul cînd nu avem alte indicații decît datele sale nominale), care este sarcina admisă pentru înfășurarea secundară, în scopul respectării clasei de precizie. Această sarcină maximă este dată de formula

$$Z_n = \frac{P_n}{I_n^2}[\Omega], \tag{4.4}$$

în care: Z_n este sarcina maximă admisibilă în limita clasei de precizie sau sarcina nominală a transformatorului, în Ω;

P_n — puterea nominală a transformatorului respectiv, în VA;

I_n — curentul nominal al transformatorului (5 A sau în unele cazuri 1 A).

Pentru transformatoarele de tensiune se aplică formula

$$Z_n = \frac{U_n}{P_n} = \frac{10\,000}{P_n}, \tag{4.5}$$

în care U_n este tensiunea nominală secundară în general 100 V;

P_n — puterea nominală a transformatorului respectiv, VA.

Sarcina secundară a unui transformator se măsoară în același mod ca la ridicarea curbei volt-amper, cu o schemă din fig. 4.14. Circuitul de curent sau tensiune la care sînt racordate aparatele de măsurat sau de protecție se leagă în punctele x și y. În practică, aceasta se realizează chiar la bornele transformatorului, pentru a se include și conductoarele de legătură dintre transformatoare și instalația propriu-zisă, avînd grijă să nu existe nici o legătură cu secundarul transformatorului de măsură. Impedanța măsurată la unul din parametrii nominali ai circuitului respectiv (5 sau 1 A pentru transformatoarele de curent și 100 V pentru cele de tensiune) trebuie să fie mai mică decît valoarea maximă admisibilă Z_n pentru reductoarele de curent și mai mare decît aceasta pentru transformatoarele de tensiune.

Fig. 4.14. Schema de măsurare a sarcinii secundare a transformatoarelor de curent.

Pentru a nu deforma rezultatele, vom lua toate măsurile

necesare, astfel încît forma curbei curentului alternativ folosit să fie riguros sinusoidală. În cazul cînd avem îndoieli asupra acestui lucru și nu avem posibilități de control vom avea grijă ca instalația cu care realizăm schema din fig. 4.14 să aibă o putere de două sau mai multe ori mai mare decît aceea a transformatorului de măsură al cărui circuit îl verificăm.

4.5. Verificarea schemei complete de protecție și automatizare

După terminarea montajului (cazul instalațiilor noi), sau a punerii la punct a tuturor elementelor de protecție și automatizare, (cazul instalațiilor în revizie sau reparație) se trece la verificarea în ansamblu a instalației respective. În cazul instalațiilor noi nu se iau măsuri speciale din punctul de vedere al protecției muncii (ca pentru instalațiile în funcțiune) în afara celor impuse de verificările cu tensiune mărită.

La instalațiile în funcțiune, se procedează, după scoaterea lor de sub tensiune, la izolarea lor de partea cu înaltă tensiune, de către personalul de serviciu al stației sau al centralei respective. Lucrările de verificare se execută de către personalul specializat și nu trebuie începute decît după ce s-au terminat toate operațiile pregătitoare și s-au luat toate măsurile de prevenire a accidentelor, reglementate prin P.E.T. și N.T.S.

Ținînd seama că unele dintre probele ce trebuie efectuate pentru verificarea completă a instalațiilor de protecție și automatizare (consultarea documentațiilor, verificarea aspectului exterior și al izolației etc.) au fost tratate în paragrafele precedente nu vom mai insista asupra lor. De asemenea se presupune că fiecare releu sau element component al schemei a fost verificat separat și s-au realizat reglajele corespunzătoare.

Înainte de a se trece la verificarea completă a instalațiilor, se controlează dacă toate conexiunile din șirurile de cleme sînt strînse în clemele respective și în mod special șuruburile din cleme. Este deosebit de important ca toate șuruburile să fie strînse, mai ales cele din circuitele de curent.

Verificarea completă a instalațiilor de protecție și automatizare se face în două moduri și anume *fără curent* și *cu curent*.

Prin verificarea instalațiilor fără curent se înțelege controlul tuturor legăturilor dintre elementele instalației respective (legăturile dintre transformatoarele de măsură, întrerupătoare etc.) și panourile pe care sînt montate releele, legăturile dintre elementele componente ale instalației (relee, lampă de semnalizare, aparate

de măsurat etc.). Aceste verificări se efectuează cu ajutorul telefoanelor portative, ohmmetrelor, soneriilor și altor dispozitive similare care controlează continuitatea circuitelor. Verificarea fără curent este sigură și simplă, însă cere mult timp, mai ales pentru instalațiile mari.

Prin verificarea instalațiilor cu curent se înțelege controlul tuturor legăturilor dintre elementele instalației, cu ajutorul curentului sau al tensiunii. În acest scop se alimentează instalația respectivă cu curentul sau cu tensiunea de regim. Acest gen de verificare se mai numește și *verificarea în ansamblu* sau *verificarea interacțiunii schemei.*

Pentru a se verifica interacțiunea schemei de curent continuu, după ce s-a constatat că toate elementele funcționează corect și schema găsită coincide cu cea din proiect, se trece la încercarea interacțiunii releelor din întreaga instalație. În acest scop, se îndepărtează toate legăturile provizorii realizate în timpul verificărilor anterioare (ale izolației, ale elementelor separate etc.). Dacă verificarea necesită și acționarea unui întrerupător sau separator de înaltă tensiune pentru siguranță, se mobilizează personalul care exploatează aceste elemente și se manevrează de cîteva ori de la fața locului. După ce s-a constatat că toate elementele instalației sînt în ordine se introduc siguranțele de curent continuu și se controlează dacă toate releele și lămpile de semnalizare sînt alimentate sau nu în conformitate cu schema de principiu a instalației respective. În acest timp se fac măsurări pentru constatarea prezenței curentului continuu, la toate clemele unde el trebuie să existe în mod normal. Controlul se începe de la ieșirea din siguranțe și se continuă în toate panourile și punctele racordate la instalația respectivă, indiferent de locul unde se află. Concomitent cu aceasta se controlează încălzirea sau comportarea tuturor elementelor care sînt permanent sub tensiune.

In principiu nu se trece la o altă operație de verificare sau control pînă cînd nu se lămuresc toate situațiile anormale întîlnite.

Pentru exemplificare se descrie verificarea interacțiunii schemei de curent continuu, a unei protecții maximal direcționale cu două trepte de timp (fig. 4.15). După constatarea prezenței tensiunii la clemele *15* și *13*, se anclanșează întrerupătorul și se conectează dispozitivul de deconectare *DD*, pentru stabilirea circuitului normal de declanșare.

Se închid, cu o piesă izolantă, contactele releului *RPa* și *1RCa*, după care întrerupătorul trebuie să declanșeze rapid și releul *1RS* să semnalizeze prin căderea clapetei și aprinderea lămpii de avarie *LA* (nefigurată în schemă). Se reanclanșează manual întrerupătorul și se repetă operația prin închiderea contactelor

releelor *RPa* și *2RCa*. De data aceasta trebuie să se comande temporizat declanșarea întrerupătorului după un timp la care este reglat releul *1RT*. Se controlează dacă întrerupătorul a declanșat și releul *2RS* a semnalizat optic și acustic (semnalizările releului *2RS* nu sînt figurate în schemă).

Se continuă în acest mod pînă se controlează toate contactele și toate circuitele din schema desfășurată din fig. 4.15. Acest exemplu de verificare a interacțiunii schemelor de protecție și automatizare este aplicabil și perfect valabil pentru orice fel de schemă, oricît de complicată.

În cazul cînd schema funcționează defectuos și nu dă rezultatele dorite se trece la controlul din aproape în aproape, pentru depistarea defectului. Cel mai recomandabil în această situație este folosirea unui voltmetru sau a unei lămpi de probă pentru a controla prezența tensiunii operative în nodul cercetat. De exemplu, vrem să cercetăm dacă se închide sau nu (din punct de vedere electric), contactul releului *RPc* din fig. 4.15. Conectăm voltmetrul cu o bornă la clema *13* (minus) și cu cealaltă la clema *3* a releului *RPc*. În primul moment voltmetrul nu trebuie să indice nimic; el va indica tensiunea operativă, numai după ce închidem contactul releului *RPc*. Dacă nu indică nimic nici după închiderea contactului respectiv, însemnează că legătura pînă la contact sau contactul nu sînt în ordine. Se continuă în același mod pînă se găsește locul defecțiunii. În practică se obișnuiește să se izoleze circuitul respectiv pentru a se evita posibilitatea apariției unor circuite false care pot denatura rezultatul controlului și deci întîrzia găsirea defecțiunii. Contactele releelor din schemă se pot închide cu ajutorul pieselor izolante sau

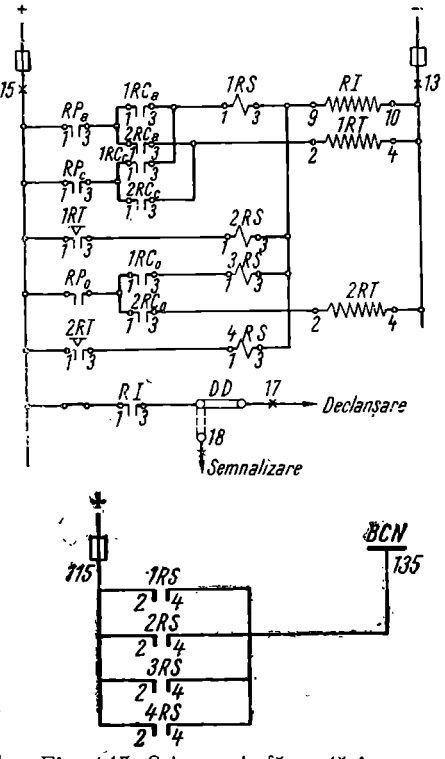


Fig. 4.15. Schema desfășurată în curent continuu a unui protecții în două trepte.

cu ajutorul curentului sau al tensiunii, alimentîndu-se înfășurările releului respectiv cu valori care depășesc reglajele lor existente. Partea de curent alternativ se verifică în principiu tot în acest mod numai că mijloacele de control al interacțiunii elementelor care se încearcă sînt mai complicate. Pentru încercarea părții de curent alternativ a schemei din fig. 4.16, se verifică funcționarea releelor maximale de curent *RC* cu ajutorul unei instalații de încercare care se racordează prin blocul de încercare *BI* la bornele corespunzătoare releelor care se încearcă.

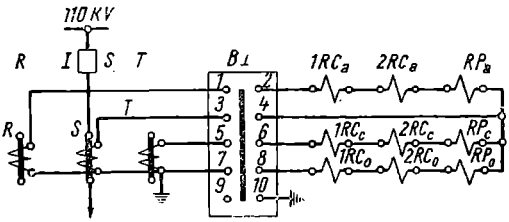


Fig. 4.16. Schema desfășurată în curent alternativ a protecției din fig. 4.15.

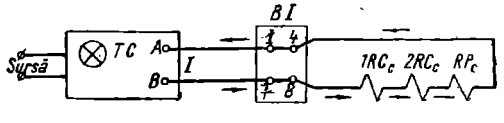


Fig. 4.17. Schema de verificare cu curent secundar a releelor IRC_c și $2RC_c$ (fig. 4.16).

Pentru releele *1RCc* și *2RCc* se va realiza un montaj ca cel din fig. 4.17. Se racordează la bornele de legătură a blocului de încercare (bornele *4* și *6*) trusa de încercare (care poate fi o trusă de curent și tensiune sau orice alt dispozitiv). Dacă instalația este în funcțiune, bornele *3*, *5* și *7* se scurtcircuitează între ele și de asemenea *1* cu *2*. În continuare se mărește curentul cu ajutorul trusei de încercare pînă cînd acționează releul care ne interesează din acest circuit. Funcționarea părții de curent alternativ se poate verifica de la o sursă auxiliară cu curent introdus în circuitele secundare, așa cum am arătat mai sus sau cu curent introdus în circuitele primare ale transformatoarelor de măsură.

Verificarea cu curent în circuitele secundare, este mai ușor de realizat, însă constituie doar o verificare parțială a circuitelor de curent. Verificarea cu curent în circuitele primare este mai greu de realizat, însă este mai completă, deoarece cuprinde atît circuitul primar cît și pe cel secundar.

În acest caz verificarea se face după schema din fig. 4.18 și cuprinde următoarele faze:

— se realizează montajul indicat, respectîndu-se recomandările de mai sus cu privire la instrucțiunile și normele în vigoare;

— se mărește curentul în circuitul primar pînă la valoarea de acționare a unui releu montat în secundar; se citesc curenții din

primar și din secundar, verificîndu-se în acest mod și raportul de transformare al transformatorului respectiv;

— se repetă operația cu blocul de încercare scos, însă cu ampermetrul înseriat în secundarul transformatorului de măsură;

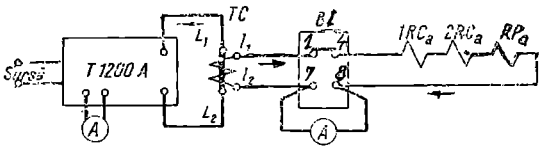


Fig. 4.18. Schema de verificare cu curent primar a protecției din fig. 4.16.

se verifică în acest fel dacă blocul de încercare șuntează secundarul atunci cînd este scos și realizează corect legăturile atunci cînd este introdus;

— se recomandă să se măsoare și căderile de tensiune la bornele înfășurărilor de curent ale tuturor releelor din circuitul respectiv, pentru a se verifica circulația curentului secundar în toate elementele înseriate.

Circuitele secundare de tensiune se încearcă în același mod, dar în locul curentului se va lucra cu tensiune. Evident că încercarea cu tensiune primară este mai dificilă în acest caz, întrucît pune probleme de izolare (din punctul de vedere al tensiunii înalte și al protecției muncii) mult mai complicate decît verificarea cu curent.

Verificarea cu curent este o probă mai completă, necesită timp mai lung, măsuri și utilaje speciale, însă este deosebit de eficace și sigură. Ea are avantajul că încearcă instalația în condițiile de funcționare ale acestuia.

Protecțiile de distanță fiind instalații complexe, a căror acționare depinde de impedența măsurată, se verifică cu curent și cu tensiune. Fixarea diferitelor impedanțe pentru a acționa în zonele *I*, *II* sau *III*, elementele de pornire, elementul direcțional și alte elemente ale protecțiilor de distanță se verifică cu ajutorul truselor speciale sau al instalațiilor de variație a curentului, a tensiunii și a unghiului dintre acestea (v. cap. 3).

Vom expune modul în care se verifică principalele elemente ale protecției de distanță tip RD7—QEVX (v.BI, fig. 9.48).

După verificarea elementelor componente ale protecției de distanță din punct de vedere mecanic, al izolației și al aspectului, se verifică interacțiunea acestora. In continuare se verifică caracteristicile electrice ale elementelor de pornire, de măsurare a impedanței etc.

Pentru verificarea elementelor de pornire, se alimentează cu curent și tensiune (indiferent de unghiul dintre ele) elementul de pornire care trebuie încercat. În cazul cînd se verifică elementul de pornire A'_S pentru a acționa la scurtcircuit bifazat (ST), se conectează instalația de încercare (trusa de verificare a releelor de distanță RD7 — v. cap. 3) sau altă instalație. Pentru aceasta, circuitul de curent al instalației de încercare se leagă la clemele *3* și *4* ale releului Q_3 iar circuitul de tensiune al instalației de încercare, la clemele *10* și *11* ale releului. Se menține curentul la valori diferite constante (2, 4, 6 ... 10 A) și se scade tensiunea pînă cînd acționează elementul A'_r. Pentru observarea precisă a momentului de acționare a elementului A'_S, se poate folosi curentul operativ (atunci cînd acționează releele intermediare B_{S1} și B_{S2}) sau, atunci cînd acesta lipsește, se conectează un ohmmetru sau o sonerie între clemele *13* și *17* al releului Q_3. Curba obținută trebuie să fie identică cu cea indicată în subcapitolul 1.3. În cazul verificării aceluiași element la scurtcircuit monofazat (SO), se conectează circuitul de tensiune la clemele *10* și *12*, restul operațiilor fiind identice cu cele descrise mai sus.

Celelalte elemente de pornire se verifică în mod asemănător, cu condiția ca circuitele de curent și de tensiune să fie racordate la clemele indicate în tabela 4.3, pentru fiecare element și gen de scurtcircuit în parte.

Tabela 4.3

Elementul încercat	Circuitul de curent, la clemele	Circuitul de tensiune, la clemele		Contolul acționării elementului, la clemele
		scurtcircuit bifazat	scurtcircuit monofazat	
A'_r	1—2	9—10	9—12	15—16
A'_s	3—4	10—11	10—12	13—17
A'_t	5—6	11— 9	11—12	18—19
A'_o	7—8	—	—	13—20

Pentru verificarea elementului de măsurare a impedanței la un scurtcircuit între fazele S și T, se conectează instalația de încercare cu clemele *3* și *5* la circuitele de curent și cu clemele *10* și *11* la circuitele de tensiune. Unghiul dintre curent și tensiune trebuie să fie egal cu unghiul fixat de parametrii impedanței mixte. În acest caz se menține un curent constant (de două ori mai mari decît curentul nominal) și se micșorează tensiunea de la valoarea nominală pînă cînd elementul de măsurare acțio-

nează la timpul corespunzător zonei *III*. Se micșorează în continuare tensiunea pînă cînd elementul de măsurare acționează la timpul corespunzător zonei *II*, și apoi pînă cînd elementul acționează rapid (fără temporizare), aceasta corespunzînd zonei *I*. Se trasează curba $t=f(U)$ care este proporțională cu $t=f(Z)$ și trebuie să corespundă celor indicate de subcapitolul 1.3.

În cazul cînd se verifică diagrama de acționare a elementului de măsurare cu impedanța mixtă, se efectuează aceleași operații ca mai sus, însă pentru diferite unghiuri între curent și tensiune. În acest fel se obține de exemplu pentru zona *I* un cerc care are centrul în originea coordonatelor *X* și *R* dacă impedanța mixtă este fixată la poziția *0°* și un cerc deplasat în mod corespunzător pentru altă poziție a impedanței mixte. Diagramele de acționare obținute pentru impedanțele celorlalte zone (*II* și *III*) trebuie să fie concentrice cu cercul obținut pentru zona *I*. Atunci cînd se ridică diagrama de acționare a elementului de măsurare trebuie să se anuleze acționarea elementului direcțional (se blochează în poziția de admitere a declanșării).

Elementul direcțional se verifică ca și releul direcțional (*IMB*).

Elementul de comparare a tensiunilor se verifică pentru elementul D'_{or} alimentîndu-se de la două surse variabile de tensiune: clemele *9* și *12* de la o sursă, iar clemele *11* și *12* de la cealaltă.

Se mărește tensiunea ambelor surse pînă la valoarea nominală ($100/\sqrt{3}$ V) și se micșorează tensiunea care alimentează clemele *9* și *12*, pînă cînd releul D'_{or} acționează. Valoarea obținută trebuie să coincidă cu reglajul fixat pe scala releului. Restul probelor se efectuează ca la punerea în funcțiune și la verificarea pe viu sau în sarcină a instalațiilor complete.

Instalațiile și elementele de automatizare se verifică în același mod, avîndu-se în vedere să se respecte schema de principiu și particularitățile respective.

4.6. Proba pe viu a instalațiilor de protecție și automatizare

Înainte de a fi date definitiv în exploatare, este bine ca asupra instalațiilor verificate să se efectueze și proba în sarcină și, acolo unde condițiile permit, proba pe viu.

Proba în sarcină este o verificare a comportării instalațiilor atunci cînd ele sînt alimentate cu curenții sau tensiunile normale ale elementului principal (generator, linie, transformator etc.).

Această probă nu se poate efectua decît cu elementul principal în funcțiune normală, adică pus sub tensiune și alimentînd consumatori. Unele instalații de protecție nu se pot verifica corect decît în aceste condiții (relee direcționale, protecții diferențiale etc.). Proba în sarcină verifică corectitudinea conexiunilor în circuitele de curent și de tensiune alternativă și constituie o asigurare în plus față de verificările anterioare.

Verificarea în sarcină a circuitelor de tensiune se efectuează măsurîndu-se cu un voltmetru toate tensiunile, la șirul de cleme și la bornele de tensiune ale relelor din schema respectivă. Această probă trebuie urmărită cu multă atenție, tensiunea trebuind determinată, ca valoare, fază și succesiune, în special la releele direcționale și de distanță. Este cunoscut că alimentarea unui releu special cu alte tensiuni decît cele indicate conduce la acționarea sa incorectă.

Verificarea în sarcină a circuitelor de curent poate fi efectuată în două moduri și anume:

— prin măsurarea curentului în diferite puncte ale circuitului respectiv, înseriindu-se un ampermetru;

— prin măsurarea căderilor de tensiune la bornele de curent ale elementelor înseriate în circuitul respectiv.

Fiecare dintre aceste metode are avantaje și dezavantaje. Pentru protecțiile diferențiale, direcționale și la distanță cea mai utilă și larg răspîndită este prima, întrucît permite determinarea curentului respectiv atît ca modul cît și ca argument și din acest punct de vedere oferă multe avantaje.

Pentru protecțiile speciale (direcționale, diferențiale, de distanță etc.) odată cu verificarea în sarcină, este necesară determinarea modulului și a argumentului curenților. Aceasta se face cu ajutorul uneia din metodele indicate mai sus și anume: diagrama vectorială sau folosirea aparatelor speciale ca decalometrul sau cosfimetrul etc.

De exemplu pentru protecțiile direcționale determinarea parametrilor vectoriali ai curentului normal de funcționare este deosebit de importantă întrucît se poate constata imediat dacă aceste protecții sînt montate corect sau nu. O dată determinat curentul ca vector putem determina zona de închidere sau deschidere a contactului, în funcție de tensiunea cu care este alimentat releul respectiv. La această operație trebuie să ținem seama și de schema după care s-a montat protecția respectivă. Astfel, în cazul unui releu IMB171 montat după schema de 90° și cu un unghi propriu de 30° care controlează sensul energiei pe faza R, alimentarea se face cu tensiunea U_{ST} și cu curentul fazei R (fig. 4.19). Acest releu trebuie, în funcționare normală, să-și închidă contac-

tul la curenți ai căror vectori sînt dispuși între 330° și 150° și să-și deschidă contactul la curenți ai căror vectori sînt dispuși între 150° și 330° față de tensiunea U_{RO} (fig. 4.20). Deci unghiul de sensibilitate maximă față de U_{RO} trebuie să fie aproximativ 60°, valoare normală a unghiului propriu al liniilor aeriene de înaltă tensiune.

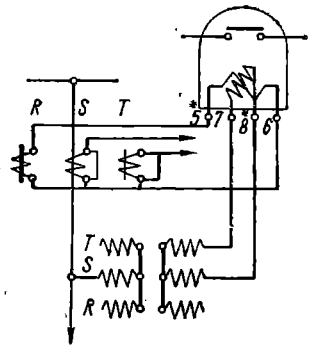


Fig. 4.19. Schema de montaj a releului IMB171 pe faza R.

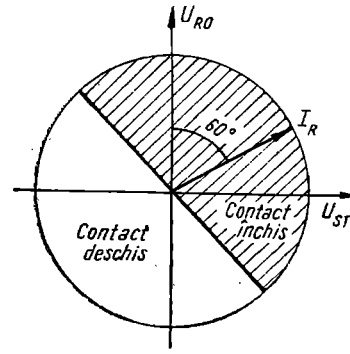


Fig. 4.20. Diagrama de funcționare a releului IMB171 montat ca în fig. 4.19.

Pentru protecțiile diferențiale trebuie determinate de asemenea parametrii vectoriali ai curenților pe fiecare fază și în toate înfășurările care realizează protecția diferențială (înfășurările de egalizare și diferențiale). Determinarea se face cu una din metodele indicate mai sus. După cum se știe, la instalațiile de protecție diferențială se adoptă măsuri speciale pentru ca în circuitul înfășurărilor de lucru (diferențiale) să nu circule nici un curent atunci cînd instalația se află în funcționare normală, sau cînd defectele (scurtcircuitele) sînt în afara zonei de lucru. Cu toate aceste măsuri, curenții care circulă prin înfășurările de lucru ale protecției, în timpul funcționării normale a elementului protejat, ating uneori valori inadmisibile. Aceasta se datorește transformatoarelor de curent și intermediare care formează circuitul protecției diferențiale care nu sînt perfect identice între ele. Atunci cînd protecția diferențială protejează un transformator de putere cu raport variabil această diferență, nedorită, este și mai mare și depinde de raportul de transformare sau mai corect de treapta (plotul) pe care se află transformatorul în momentul determinării. Se admite pentru protecții diferențiale cu frînare (tip RDS sau altele asemănătoare) ca diferența maximă (atunci cînd transformatorul se află în sarcina nominală și pe unul din ploturile

extreme) să nu depășească 25% din valoarea de acționare a releului respectiv. Pentru încercarea protecției diferențiale atunci cînd elementul protejat se află în sarcină, se realizează succesiv următoarele operații:

— se întocmește schema completă și reală a protecției diferențiale a elementului protejat în care se notează polaritățile transformatoarelor de curent atît pentru partea primară cît și pentru cea secundară (fig. 4.21);

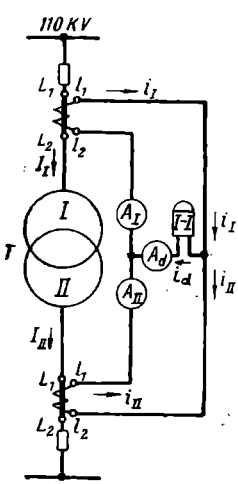


Fig. 4.21. Schema de principiu a protecției diferențiale cu ampermetrele montate pentru proba de sarcină.

— se determină parametrii curenților din secundarul transformatoarelor de măsură (i_1 și i_2) folosindu-se una dintre metodele indicate la § 3.2.4; în timpul acestor încercări se iau toate măsurile necesare ca protecția să nu acționeze greșit;

— se calculează suma geometrică a tuturor curenților secundari, care intră și ies într-unul dintre nodurile ramurii diferențiale a schemei (după transformatoarele de egalizare sau de rotire, dacă ele există), luîndu-se în considerare schema reală a protecției și sensul curenților.

Pentru protecțiile diferențiale mai complexe adică pentru elementele cu trei sau mai multe căi de curent, principiul rămîne același.

Această operație, se efectuează pentru fiecare fază separat ca și interpretarea rezultatelor.

In cazul cînd curentul de diferență depășește cu mult valorile recomandate mai sus și cînd rezultatul nu se datorește unor erori de măsurare, se cercetează cauza care a dus la acest rezultat și care poate fi greșeală de montaj. După înlăturarea deficienței și aducerea schemei la normal se repetă măsurătorile.

Este recomandabil ca aceste probe să se efectueze atunci cînd sarcina reprezintă mai mult decît 50% din curentul nominal al elementului protejat, în scopul măririi preciziei măsurărilor. Valorile secundare ale curenților obținuți în acest caz sînt acceptabile pentru aparatele de măsurat uzuale. Această recomandare este obligatorie pentru transformatoare și pentru motivul că, la sarcini mai mici, curentul de mers în gol a transformatorului protejat poate influența rezultatele verificării.

Pentru protecțiile maximale de curent, proba în sarcină are ca scop să se verifice dacă circuitul de curent se închide corect, prin toate elementele schemei respective. Această verificare se poate efectua mai ușor prin măsurarea căderilor de tensiune, cu ajutorul unui voltmetru de curent alternativ cu limitele de 0,05—2 V. Măsurările se efectuează la bornele bobinelor prin care trece curentul din circuitul respectiv. Parcurgerea de către curent a unei bobine se evidențiază prin căderea de tensiune la bornele ei.

Este evident că încercarea instalațiilor de protecție și automatizare în condiții reale de defect (proba pe viu) este proba cea mai concludentă și sigură pentru a se constata eficacitatea instalațiilor respective și este recomandată a fi folosită cu prioritate ori de cîte ori este posibil. Proba pe viu constă în acționarea instalațiilor sau a elementelor de protecție sau de automatizare cu curent sau tensiune în condiții reale de defect. Aceasta se realizează prin variația corespunzătoare a curentului, tensiunii, frecvenței și a altor mărimi direct în instalațiile primare astfel că și în circuitele secundare apar condiții ca în cazul defectelor reale. Prin aceasta se verifică toate elementele schemei și principiul proiectat în condiții normale de funcționare și fără artificii de schemă. Realizarea acestor probe este în general mai ușoară pentru protecțiile maximale de curent și pentru marea majoritate a protecțiilor generatoaerlor sau transofrmatoarelor conectate la barele unei centrale, adică în apropierea unor surse puternice. Ele sînt ceva mai dificil de realizat pentru protecțiile diferențiale ale transformatoarelor de putere montate în stațiile fără centrale electrice în apropiere și constituie probleme speciale pentru încercarea protecțiilor de distanță sau a unor automatizări speciale (de exemplu RARM).

Pentru verificarea pe viu a protecțiilor generatoarelor electrice se utilizează ca sursă de curent mare sau de tensiune înaltă chiar generatorul. În acest scop se pornește motorul primar pînă la parametrii nominali și se reglează excitația generatorului pentru obținerea curenților sau a tensiunilor necesare probelor.

Vom expune modul cum se efectuează verificarea pe viu a principalelor protecții ale generatoarelor, folosindu-se ca sursă chiar generatorul respectiv.

Protecția maximală de curent. Se realizează un scurtcircuit trifazat direct la bornele generatorului, după transformatoarele de curent la care sînt conectate releele protecției maximale (fig. 4.22). Se conectează în circuitele de curent ale protecției maximale de curent cîte un ampermetru *As* pe fiecare fază, pentru a se verifica valoarea de acționare a releului respectiv. Este necesară această măsură întrucît curentul de acționare al releului este

cu 1,5—1,7 ori mai mare decît curentul nominal al transformatorului de măsură (mai corect al generatorului), ceea ce face ca aparatele de măsurat ale generatorului în acest caz ampermetrele de panou *Ap* să nu indice această valoare. Ampermetrele montate suplimentar controlează în același timp și continuitatea circuitelor de curent în care sînt conectate releele. Se închide automatul de dezexcitare rapidă *ADR* și se mărește excitația generatorului încet, pînă cînd curentul atinge 30—100% din valoarea nominală. Se compară indicațiile aparatelor de măsurat ale generatorului cu cele montate suplimentar; o dată cu aceasta se controlează dacă toate circuitele de curent sînt închise. După ce se constată că proba dă rezultate normale se continuă mărirea excitației pînă cînd curentul atinge valoarea de acționare a protecției maximale. Se notează valoarea la care acționează protecția și se menține această valoare pînă cînd protecția comandă declanșarea întrerupătoarelor. Simultan cu această probă se verifică și protecția de semnalizare a suprasarcinilor, care este reglată la valori mai mici. Se scot aparatele de măsurat suplimentare al circuitului de curent a releelor maximale și se repetă proba cu declanșarea prin protecție. Această ultimă probă are ca scop verificarea definitivă a circuitelor de curent în starea în care vor funcționa în mod normal instalațiile de protecție ale generatorului.

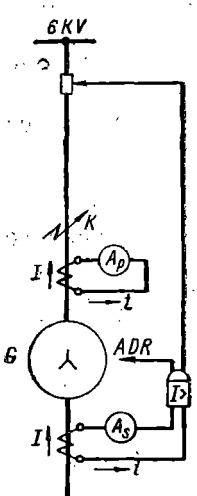


Fig. 4.22. Încercarea pe viu a protecției maximale de curent a generatoarelor.

Protecția diferențială a blocului generator-transformator. Se montează aparate universale (de preferință tip Avomet) pe fiecare circuit în parte, pe fiecare fază a fiecărui transformator de curent și în circuitul de diferență al releului diferențial (fig. 4.23). Aparatele de măsurat se înseriază în aceste circuite direct la bornele releului și se așază toate pe o masă, grupate cîte trei (pe cele trei faze), pentru 110 kV, pentru steaua generatorului, pentru circuitul de diferență etc, respectîndu-se ordinea fazelor pentru fiecare grupă în parte. Este necesară această măsură în scopul eliminării eventualelor greșeli și pentru mărirea operativității citirilor în timpul probelor. Evident că toate aceste aparate marcate în mod vizibil după curentul pe care-l măsoară vor fi citite de mai multe persoane și indicațiile lor vor fi notate într-o tabelă întocmită înainte de începerea probelor. Se deconectează declanșarea releului diferențial, pentru a se putea citi și interpreta comod rezultatele măsurărilor.

În scopul verificării pe viu a protecției diferențiale a blocului generator-transformator din fig. 4.23, se efectuează următoarele probe:

— un scurtcircuit trifazat în afara zonei (în punctul K_1);
— un scurtcircuit trifazat în afara zonei (în punctul K_2);
— un scurtcircuit trifazat în zonă (în punctul K_3).

Probele de scurtcircuite în afara zonei se mai numesc și *probe negative*, ceea ce înseamnă că în cursul acestor probe protecția diferențială nu trebuie să acționeze, deci ampermetrele *Ad* montate în circuitul diferențial, nu trebuie să indice curent. Proba de scurtcircuit în zonă se mai numește și *proba pozitivă*, ceea ce înseamnă că în timpul acestei probe protecția diferențială trebuie să acționeze și ampermetrele montate în circuitul diferențial trebuie să măsoare curenții de scurtcircuit.

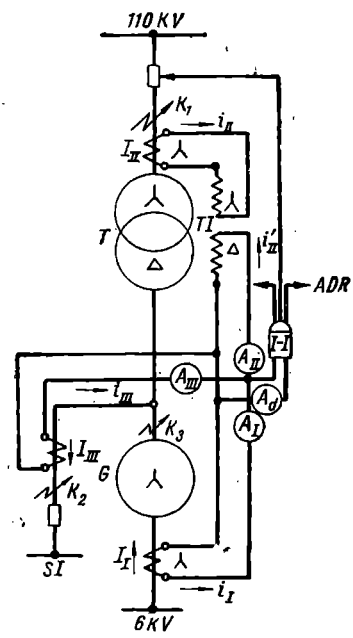


Fig. 4.23. Încercarea pe viu a protecției diferențiale a blocului generator-transformator.

Scurtcircuitul trifazat în afara zonei (în punctul K_1) trebuie realizat cu conductoare de aceeași secțiune cu a barelor pe care se montează. Se închide *ADR* și se mărește excitația generatorului încet, pînă cînd curentul atinge 20—25% din curentul nominal al generatorului. În această situație se notează indicațiile tuturor aparatelor de măsurat. După notare și după interpretare sumară se controlează dacă se închid toate circuitele de curent ale transformatoarelor de măsură încluse în acest scurtcircuit. În cazul în care nu apar dificultăți, se mărește curentul încet, pînă la 50—60% din curentul nominal al generatorului; în această situație se procedează ca mai sus. Dacă și la această treaptă de curent nu apar dificultăți, se mărește curentul pînă la valoarea nominală, și se notează valorile indicate de toate aparatele de măsurat; releul diferențial nu trebuie să acționeze. În acest caz curentul de diferență nu trebuie să depășească mai mult de 20—25% din curentul de acționare al protecției diferențiale. Dacă proba se efectuează asupra unor transformatoare de putere cu reglaj sub sarcina se măsoară curentul din circuitul

diferențial la ploturile mediu, minim și maxim. Curentul din circuitul diferențial măsurat în situația cea mai dezavantajată (valoarea cea mai mare) nu trebuie să depășească valoarea indicată mai sus; în caz contrar și dacă sîntem siguri că nu există o greșeală de montaj (sensul curenților din circuitele transformatoarelor de măsură este corect) corectăm această deficiență fie prin modificarea transformatoarelor intermediare (operație ineficace și practic imposibilă), fie prin mărirea curentului de acționare al releului, astfel încît să respecte indicația de mai sus. După ce această probă dă rezultate bune se trece la următoarea.

Se elimină scurtcircuitul din punctul K_1 și se produce un scurtcircuit trifazat în punctul K_2. Se procedează exact ca la scurtcircuitul din punctul K_1.

În aceste probe s-a urmărit modul cum a fost realizat montajul circuitelor secundare ale protecției diferențiale de la transformatoarele de măsură pe partea primară pînă la releul diferențial, inclusiv toate elementele intermediare. În cazul în care protecția diferențială nu a acționat, se poate deduce că protecția diferențială este montată corect, adică transformatoarele intermediare au aceeași grupă de conexiuni ca a transformatorului de putere, circuitul diferențial este realizat corect și releul este conectat corect. Numărul de probe negative este egal cu numărul de înfășurări și de derivații ale elementului protejat. După terminarea probelor negative se trece la proba pozitivă.

Se elimină scurtcircuitul de la ultima probă negativă și se produce un scurtcircuit trifazat în punctul K_3. Se mărește încet curentul pînă la valoarea de acționare a protecției diferențiale, care se notează în tabela amintită. După această probă se micșorează curentul pînă la zero.

Se scot toate aparatele de măsurat montate special pentru această probă și se refac circuitele de curent în care au fost înseriate; se conectează declanșarea. În situația refăcută, pentru funcționarea normală a instalațiilor generatorului, se repetă ultima probă adică se mărește curentul pînă cînd releul diferențial acționează; această probă este obligatorie, în scopul verificării corectitudinii montării instalației după încercările efectuate.

În cazul verificării protecției diferențiale a unui transformator de putere probele de mai sus se completează cu 3—5 conectări în gol, la tensiune nominală. Aceste probe sînt necesare pentru controlul comportării protecției diferențiale față de șocurile curenților de magnetizare.

Protecția minimală de tensiune sau blocajul voltmetric. Se închide *ADR* (cu întrerupătorul principal și separatoarele de bare

deschise) și se mărește progresiv tensiunea pînă cînd releele minimale de tensiune își deschid contactele; se notează această valoare. Pentru mai multă siguranță, se pot monta trei voltmetre de precizie în secundarul transformatoarelor de tensiune. Se notează valorile la care releele își închid și își deschid contactele. Valorile notate trebuie să corespundă cu reglajele stabilite.

Protecția contra punerilor la pămînt în statorul, generatorului. Se realizează o punere la pămînt artificială a uneia dintre fazele generatorului (un scurtcircuit între o fază și pămînt). Se închide ADR și se mărește progresiv tensiunea pînă la acționarea protecției, care trebuie să corespundă cu reglajele calculate anterior.

Proba pe viu are dezavantajul că este destul de neeconomică, datorită consumului motoarelor primare. Tot odată pot apare dificultăți de ordin tehnic, cauzate în special de funcționarea în gol a turbinelor cu abur și a altor instalații legate de acestea. De asemenea manevrarea și folosirea generatoarelor în cursul acestor probe pot conduce la fenomene neprevăzute și periculoase pentru integritatea lor. De aceea în scopul limitării timpului de încercare este necesar a se întocmi un program precis de desfășurare a probelor pe viu.

În cazul verificării pe viu a protecțiilor de distanță și a instalațiilor de automatizare (reanclanșare automată rapidă monofazată și trifazată) montate în instalațiile de înaltă tensiune se pot efectua de asemenea probe pe viu. Aceste probe sînt mai dificile datorită faptului că trebuie asigurate o serie de condiții speciale, printre care:

— realizarea unui scurtcircuit direct pe linia de înaltă tensiune, în punctele caracteristice (atît în zona de acționare a protecției de distanță cît și în afara ei) fără perturbarea alimentării consumatorilor și a funcționării generatoarelor;

— măsurarea curenților de scurtcircuit cu ajutorul oscilografelor, pentru a le compara cu mărimile rezultate din calcul;

— sincronizarea perfectă a operațiilor în diferite puncte ale sistemului energetic;

— urmărirea comportării instalațiilor care se verifică și care sînt dispuse în puncte diferite (uneori foarte depărtate unele de altele).

4.7. Documentele principale pentru evidența instalațiilor de protecție și automatizare

În scopul organizării corespunzătoare a exploatării instalațiilor de protecție și automatizare și ale efectuării unor analize cît mai judicioase ale modului lor de funcționare, și a îmbunătățirii

și simplificării instalațiilor respective, este necesar să se țină o evidență clară și cît mai complet posibilă. Evidența trebuie să fie simplă și operativă, întrucît din ea trebuie să rezulte cele mai bune măsuri pentru lichidarea în timpul cel mai scurt posibil a defectelor proprii ale instalațiilor de protecție și automatizare. În stațiile și centralele electrice racordate la sistemul energetic național este obligatoriu a se completa și înregistra toate verificările, modificările și modul de funcționare a instalațiilor de protecție și automatizare. Vom indica cele mai importante măsuri de evidență în acest sens.

4.7.1. Buletinele

Buletinul de încercare sau de verificare este documentul de bază al instalațiilor de protecție și automatizare. Buletinele servesc la înregistrarea instalațiilor și la analiza comportării lor în timp. Acestea sînt specifice fiecărui tip de instalație; (pentru protecția maximală de curent, direcțională, diferențială etc).

Buletinele se completează la punere în funcțiune a instalațiilor respective, precum și la orice modificare sau verificare a acestora. În cazul verificărilor periodice sau a reviziilor planificate în buletine se înregistrează datele obținute la aceste probe și rezultatele se compară cu cele inițiale.

La verificările neplanificate sau accidentale se consemnează și datele suplimentare cerute de necesitatea verificării. Cele mai frecvente măsurări suplimentare sînt cele efectuate sub sarcină (diagrama vectorială și altele). Pentru protecțiile sau automatizările noi introduse experimental sau necunoscute de personalul local de exploatare trebuie folosite formulare de buletin corespunzătoare tipului de instalație nou introdus.

Într-un buletin sînt cuprinse toate datele privind o verificare completă, din toate punctele de vedere, a unei protecții sau automatizări. De asemenea sînt înregistrate elementele principale la care sînt racordate instalațiile care se încearcă etc. Formulele buletinelor de încercări conțin în general următoarele:

— antetul buletinului, care cuprinde numele unității din care face parte centrala sau stația electrică în care sînt montate instalațiile care se încearcă și elementul protejat de instalațiile supuse încercărilor (generator, linie sau transformator);

— tipul protecției care se verifică (maximală de curent, de tensiune, de distanță, diferențială, etc);

— datele specifice instalației primare și secundare a elementului care se încearcă; schema după care s-a realizat instalația; datele nominale ale transformatoarelor de curent și de

tensiune și a întrerupătoarelor folosite, tensiunea curentului operativ, data cînd a fost pusă instalația în funcțiune etc; la întreruptoare se va verifica în special tipul dispozitivului de acționare, rezistențele ohmice ale bobinelor de anclanșare și declanșare, tensiunea minimă de acționare și declanșare etc;

— date privind verificarea mecanică a elementelor componente ale instalației respective;

— date privind verificarea izolației întregii instalații;

— verificarea caracteristicilor electrice ale instalației;

— concluziile verificării;

— înregistrarea aparatelor și a utilajelor cu care s-a efectuat verificarea;

— persoanele care au efectuat controlat și aprobat verificarea.

Pentru verificarea mecanică a elementelor componente se vor avea în vedere: aspectul exterior al tuturor pieselor cuprinse în instalație, etanșeitatea la praf, starea părților metalice sau a celor acoperite cu strat protector, jocul în lagăre al pieselor mobile, oxidarea sau perlarea contactelor electrice etc. Tot în acest capitol se va avea în vedere modul de funcționare a semnalizatoarelor mecanice și a sistemului de anulare a acestora. De asemenea în cadrul verificărilor mecanice din cuprinsul buletinelor complete nu trebuie neglijată nici o parte a instalației și în special se va controla starea clemelor de șir și a legăturilor electrice, mai ales la instalațiile montate în exterior sau într-o atmosferă viciată de agenți chimici.

În buletinele de verificare sînt cuprinse două moduri de încercare a izolației și anume: măsurarea rezistenței de izolație și încercarea cu tensiune mărită.

Pentru unele instalații mai complexe, montate pe mai multe panouri sau compuse din foarte multe elemente (*RAR* monofazat sau unele protecții speciale) înaintea verificării caracteristicilor electrice se verifică numerotarea elementelor și a schemei. Această verificare privește modul cum sînt marcate releele sau elementele componente ale instalației, dacă această marcare corespunde cu schema de principiu și cu instrucțiunile respective, dacă notațiile nu sînt șterse sau neclare etc. De asemenea, se verifică clemele de șir și în special circuitele importante, (de declanșare, de curent, de tensiune etc.).

Verificarea caracteristicilor electrice diferă foarte mult de la un tip de instalație la altul. Această verificare este mai redusă ca volum pentru protecțiile simple și mai dezvoltată pentru cele mai complicate. De exemplu, pentru protecțiile maximale de curent se verifică curentul de acționare și de revenire numai în punctul fixat pe scală pentru reglajul definitiv al releului respectiv

și pe fiecare fază în parte. Se verifică din punct de vedere electric fiecare element component al schemei (relee de timp, direcționale, diferențiale, de distanță etc), la reglajul stabilit definitiv.

Se verifică și interacțiunea releelor din întreaga schemă după metodele indicate mai sus. Această verificare se efectuează după schema de principiu proprie fiecărei instalații în parte.

Pentru unele protecții speciale (de exemplu cele direcționale, diferențiale și de distanță) mai este necesară completarea unui formular special asupra modului de comportare în sarcină. În acest formular sînt prevăzute unele măsurări specifice care privesc principiul protecției respective. Dintre acestea amintim pe cele mai importante: ridicarea diagramei vectoriale, verificarea elementului direcțional, măsurarea curenților sau a tensiunilor de dezechilibru etc.

Concluziile și rezultatele verificării hotărăsc dacă instalația de protecție se poate pune în funcțiune sau nu.

Este foarte necesar să se înregistreze aparatele și utilajele folosite la încercare pentru a se putea analiza rezultatele obținute sau repeta verificarea înscrisă în buletin, atunci cînd situația cere acest lucru.

Buletinele de verificare constituie și un program bine întocmit al modului cum trebuie verificată o instalație; în acest fel sînt excluse eventualele scăpări ce s-ar produce din lipsă de experiență sau din alte motive.

Atunci cînd se face o analiză a modului de funcționare a instalațiilor de protecție pentru o zonă mai mare din sistem, se poate efectua această analiză mult mai ușor și cu rezultate mai bune pe baza unor buletine tipizate.

Măsurările sau rezultatele verificărilor se pot înregistra sub formă de tabelă sau curbe. Modul de reprezentare este ales numai în funcție de simplitatea și claritatea rezultatelor care se urmăresc.

Pe lîngă cerințele multiple pe care trebuie să le îndeplinească un buletin o condiție de bază este și aceea ca el să fie cît mai simplu și să nu ceară amănunte inutile, în așa fel încît completarea lui să se banalizeze.

4.7.2. **Graficul de verificare periodică**

Fiecare organizație locală care se îngrijește de exploatarea instalațiilor de protecție și automatizare își întocmește un grafic anual de verificare, revizie și reparație sau modernizare a tuturor instalațiilor care intră în atribuțiunile sale. Graficul de verificare trebuie să fie întocmit în concordanță cu instrucțiunile și

directivele în vigoare referitoare la volumul și termenul fixat al forului superior. Verificările periodice nu trebuie planificate la termene mai scurte decît cele recomandate în instrucțiuni, iar dacă este necesară o verificare periodică la intervale mai scurte, aceasta trebuie să fie planificată corespunzător.

La întocmirea graficului nu trebuie să se scape din vedere și alte încercări ale instalațiilor de protecție sau automatizări în afara celor prevăzute în buletinele obișnuite. De exemplu, se va avea în vedere încercarea periodică a instalațiilor de protecție și automatizare cu tensiune mărită sau alte încercări.

Pentru a se obține rezultate bune, acest grafic trebuie judicios întocmit, în funcție de particularitățile fiecărei scheme în parte. O garanție a realizării în bune condiții a acestuia este urmărirea permanentă a efectuării verificărilor conform planificării. În scopul îndeplinirii sigure a graficului de verificare este necesar ca la întocmirea lui să se coordoneze încercările instalațiilor de protecție ale elementelor importante, astfel încît acestea să coincidă cu verificarea sau revizia instalațiilor primare ale elementelor respective, în scopul de a nu se planifica în momente diferite întreruperea sau funcționarea fără protecție a elementului respectiv, mai mult decît este necesar.

4.7.3. **Registrul de exploatare**

Un alt document important pentru urmărirea în exploatare a comportării funcționării protecției prin relee și automatizări este registrul de exploatare. Acesta trebuie completat de personalul de serviciu care deservește instalațiile din centrală sau stația respectivă. În acest registru se înregistrează toate defecțiunile ivite în timpul exploatării și care necesită măsuri corespunzătoare. Se semnalează de exemplu funcționarea falsă a unui dispozitiv de semnalizare sau a unui dispozitiv de comandă.

În registru se întrunește activitatea mai multor organe și anume:

— cel care sesizează defecțiunea apărută;

— organul de coordonare care stabilește termenul și ordinea în care trebuie înlăturate defecțiunile semnalate;

— organul care execută remedierea și raportează data la care aceasta s-a realizat, cum și măsurile propuse pentru evitarea unor astfel de defecțiuni.

Toate acționările protecției sînt sesizate de personalul de serviciu (tura care deservește instalațiile unei stații sau centrale sau dispecerul care deservește instalațiile unei zone din sistem). Acesta are posibilitatea în cele mai multe cazuri, să verifice imediat dacă semnalizarea sau acționarea dată de protecție este co-

rectă sau nu. În funcție de aceasta, înregistrează semnalizarea sau acționarea protecției în documentul corespunzător și anume:

dacă a fost o semnalizare sau o acționare simultană a mai multor elemente și în același timp aparatele de măsurat au indicat o situație anormală în sistem, înregistrarea se face pe fișa de citit relee;

dacă semnalizarea sau acționarea s-a petrecut numai la un element fără alte indicații, se înregistrează și în registrul de exploatare, cu observațiile care rezultă din cercetarea situației existente în acel moment.

Aceste observații trebuie să fie pătrunse de mult simț de răspundere și să conțină mai multe date concrete întrucît personalul care trebuie să depisteze cauzele reale ale defecțiunii respective nu mai are întotdeauna posibilitatea să observe sau să cunoască complexitatea acestora.

4.7.4. Tabela sau fișele cu reglaje și registrul de dispoziții

Pentru generatoare și elemente care au reglaje fixate o dată pentru totdeauna și care nu necesită schimbarea lor în funcție de regimul de funcționare al sistemului energetic, datele concrete și de detaliu sînt precizate în proiectul de execuție. Pentru linii, transformatoare sau alte elemente care au legătură directă cu regimul de funcționare al sistemului, datele corespunzătoare fiecărui element în parte trebuie comunicate de organul care răspunde de coordonarea acestor instalații.

Toate datele care privesc reglajele instalațiilor de protecție și automatizare trebuie înregistrate într-o tabelă sau registru special, atunci cînd stația sau centrala nu are prea multe elemente, sau într-un fișier special atunci cînd numărul instalațiilor sau al elementelor este mai mare. Aceste registre sau fișe trebuie să conțină toate datele necesare reglajului și verificării instalațiilor pentru care sînt destinate. La unele servicii care se ocupă cu exploatarea instalațiilor de protecție și automatizare, fișele conțin rubrici care oglindesc datele și rezultatele obținute la verificările periodice, cum și termenul la care s-au efectuat acestea.

Pentru serviciile care urmăresc modul de comportare al instalațiilor de protecție și automatizare, datele reglajelor se trec în scheme monofilare și numai la protecțiile principale. Schemele monofilare cu reglajele protecțiilor se întocmesc pe stații, centrale sau zone restrînse ale sistemului energetic, pentru ușurarea calculării și a evidențierii acestora.

Modificările reglajelor instalațiilor de protecție și automatizare se fac pe baza dispozițiilor scrise sau telefonice, emise de

organul ierarhic în specialitate. Executarea modificării de asemenea se face cunoscută prin raportare telefonică sau scrisă.

În cazul cînd organul superior execută direct o modificare a reglajului instalațiilor de protecție și automatizare, o înregistrează clar și complet în registrul special de dispoziții.

4.7.5. Fișa de evidență a funcționării instalațiilor de protecție și automatizare

În scopul urmăririi raționale a modului de funcționare a instalațiilor de protecție și automatizare și al analizării măsurărilor necesare îmbunătățirii acestora, în centrale și stații trebuie să se introducă fișe speciale care să înregistreze acționarea acestora. Fișele în care se înregistrează funcționarea instalațiilor de protecție și automatizare se completează de personalul de serviciu (din tură) și au ca scop analiza ulterioară a comportării acestora. În aceste fișe este necesar să se înregistreze în afară de elementele care au semnalizat sau acționat și alte date, tensiune, frecvență, timp, etc, necesare, identificării ulterioare a modului în care poate fi apreciată funcționarea respectivă. Aceste fișe se stabilesc pentru fiecare stație sau centrală în parte, în funcție de instalațiile pe care le posedă.

În unele stații sau centrale mari se obișnuiește ca datele corespunzătoare funcționării instalațiilor de protecție și automatizare să fie înregistrate în registrul de evenimente al personalului de tură sau în unul special.

Serviciile sau secțiile care răspund de exploatarea și întreținerea instalațiilor de protecție și automatizare au datoria ca la sfîrșitul fiecărui an să întocmească o evidență anuală asupra rezultatului funcționării protecțiilor pe care le posedă. Această evidență trebuie centralizată la organul superior, unde trebuie analizată pe întreg sistemul energetic. În fața trebuie cuprinse toate datele necesare unei analize complete la nivelul organului tutelar în special următoarele:

— enumerarea cazurilor de acționare incorectă a instalațiilor de protecție sau automatizare, împreună cu o scurtă descriere tehnică a fiecărui caz în parte, cum și a cazurilor de acționare corectă care au contribuit la lichidarea falsă a avariei sau a perturbării regimului normal de funcționare; în scurta analiză ce se face cu această ocazie trebuie să fie indicată împrejurarea datorită căreia s-a produs acționarea incorectă, scoaterea în evidență a cauzelor și măsurile tehnice adoptate în scopul prevenirii cazurilor asemănătoare;

— înșiruirea defectelor caracteristice ale aparatajului scoase la iveală în timpul probelor sau verificărilor, dar neamintite în rîndul cazurilor de acționare incorectă;

— măsurile principale luate în sensul îmbunătățirii și modernizării instalațiilor de protecție și automatizare și modul de exploatare a acestora; modul cum au fost experimentate și introduse pentru prima dată în funcțiune, cum și rezultatele obținute pînă la data respectivă.

4.8. Interpretarea acționării protecției și automatizărilor, pentru analiza avariilor și a lichidării lor

După cum s-a arătat, stabilirea reglajelor instalațiilor de protecție și automatizare din sistemele energetice au la bază calculul curenților de scurtcircuit. Dat fiind faptul că în calculele de scurtcircuit se fac o serie de aproximații asupra coeficienților introduși în formule, metodele folosite și alte erori posibile fac ca precizia reglajelor stabilite să nu fie suficient de satisfăcătoare pentru necesitățile reale ale protecțiilor respective.

În afară de aceasta, realizarea practică a reglajelor stabilite prin calcul poate introduce erori destul de însemnate, prin faptul că aprecierea valorilor necesare se face cu ajutorul aparatelor de măsurat sau a utilajelor care nu au o clasă de precizie prea mare. Deci erorile aparatelor și ale utilajelor, ca și cele de citire sau de apreciere, se adaugă la cele de calcul.

Releele însăși sînt aparate care nu au o precizie prea mare, iar acest lucru este amplificat și de faptul că ele se racordează în general în secundarul transformatoarelor de măsură și prin alte elemente intermediare, a căror clasă de precizie este de asemenea redusă (în general clasa 3, sau mai mare).

Fenomenele reale din sistemul energetic sînt mult mai complexe și mai variate decît cele de care s-a ținut seama în calculele stabilirii reglajelor sau a schemelor de protecție. De exemplu, fenomenele tranzitorii (pendulații, scurtcircuite monofazate cu întreruperi de conductoare) conduc la situații foarte diferite de cele preconizate în calcule.

Natura defectelor în sistemele energetice sînt de asemenea un motiv de funcționare nesigură a elementelor componente ale instațiilor de protecție și automatizare, în sensul că scurtcircuitele posibile în realitate sînt cu mult mai variate decît cele prevăzute.

Toate cele arătate mai sus, cum și alte cauze care pot apărea în realitate conduc la funcționarea instalațiilor de protecție și automatizare, cu erori destul de mari, ajungîndu-se uneori la nefuncționare sau funcționare falsă. Pentru corectarea acestor erori

este necesar ca funcționarea protecțiilor să fie verificată pe defecte reale. În acest scop se utilizează în tehnica mondială două metode diferite:

— realizarea unor defecte voite în rețelele de înaltă tensiune;

— evidența și analiza comportării funcționării protecțiilor în cazul defectelor din rețea.

Realizarea defectelor voite în rețea este destul de dificilă și necesită o serie de măsuri speciale, de regulă generală, după ce se stabilește tipul defectelor ce trebuie inițiate și zona în care acestea trebuie realizate, se întocmește un program detailat de punere în practică a acestora. Zona în care se realizează defectul este determinată în general de protecția sau instalația, asupra căreia se efectuează încercările.

Programul acestor probe trebuie să conțină: calculele curenților de scurtcircuit care pot apărea în cazul acestor defecte, punctele din sistem unde se înregistrează valorile mărimilor electrice care variază în timpul defectului, înregistrare a funcționării tuturor protecțiilor care acționează sau semnalizează. Un calcul preliminar al curenților de scurtcircuit este necesar pentru aprecierea mărimilor ce trebuie înregistrate în diferite puncte ale sistemului și pentru aprecierea tuturor elementelor care pot demara, din zona în care se realizează defectul. Pregătire a tuturor măsurărilor ce se efectuează în timpul probelor este de o importanță deosebită în scopul asigurării complete a înregistrării acestora.

Evidența defectelor lichidate în mod normal de către instalațiile din sistem, cum și analiza ulterioară a comportării protecțiilor în zonele afectate de avarie constituie un mijloc foarte eficace de corectare a reglajelor protecțiilor. În toate țările cu o energetică dezvoltată se ține o evidență și o statistică strictă în acest domeniu. Anual se analizează modul de comportare a instalațiilor de protecție și automatizare în modul cel mai amănunțit posibil. Se analizează separat, pe tipuri de protecții, de defecte și chiar elemente. Numai în acest fel se pot trage concluzii mai reale în ce privește modul de comportare a diferitelor sisteme de protecție pentru lichidarea selectivă și rapidă a defectelor.

Cu ajutorul mijloacelor de verificare expuse sumar mai sus se pot evidenția comparativ tipurile de protecție cele mai eficace într-o zonă sau alta a sistemului energetic. Din studiul materialelor obținute în acest fel se mai pot impune modificări de scheme sau reglaje pentru anumite instalații care au avut comportări suspecte în repetate rînduri. De asemenea se mai pot impune modificări în ce privește termenele de verificare periodică a instalațiilor de protecție și automatizare.

4.9. Deservirea instalațiilor de protecție și automatizare

Orice instalație care funcționează în mod permanent trebuie bine întreținută și judicios deservită, ca să-și poată păstra timp îndelungat caracteristicile proprii între limite optime. Principalul mijloc de deservire a acestor instalații constă într-un control periodic al tuturor părților componente. Este important să se controleze permanent tensiunile de alimentare a părților alimentate în curent continuu. Trebuie ca valoarea acestei tensiuni să se încadreze între limitele pentru care aparatajul conectat este garantat.

Controlul încălzirii diferitelor părți sau elemente aflate în mod permanent sub tensiune este un alt mijloc de deservire corectă. Modul în care funcționează dispozitivele de semnalizare ale diferitelor elemente componente ale instalațiilor este de asemenea înglobat în aceste controale periodice. Starea izolației circuitelor de tensiune ale părților alimentate în curent continuu este esențială în funcționarea corectă a instalațiilor de protecție și automatizare și pentru aceste motive trebuie să i se acorde o atenție deosebită. Controalele periodice trebuie să se extindă asupra tuturor elementelor sau instalațiilor a căror funcționare corectă impune în mod special acest lucru.

O deservire completă a instalațiilor de protecție și automatizare nu se poate rezuma numai la controalele amintite mai sus, cu atît mai mult cu cît nu toate elementele acestor instalații pot fi controlate zilnic și atît de ușor. Pentru unele elemente (relee sau alte aparate), un control corect se face prin scoaterea lor din funcțiune, fapt care nu este posibil oricînd. De asemenea, pentru siguranța unei funcționări corecte a instalațiilor respective este necesar ca acestea să se verifice în mod periodic, cît mai complet posibil. Pentru unele protecții perioada de verificare este de un an, iar pentru altele mult mai scurtă.

Este de înțeles că nu trebuie exagerat în acest caz în sensul că pentru o bună deservire să se impună verificări sau controale cît mai dese. Acest lucru ar dăuna în primul rînd instalațiilor respective, care s-ar uza mai repede, și în al doilea rînd ar ocupa în mod inutil personalul destinat pentru aceasta, nemai socotind oprirea instalațiilor care implică manevre sau nefurnizare de energie. În realitate, este corect să se preconizeze rărirea verificărilor periodice ale instalațiilor de protecție și automatizare, la termene, care să asigure totuși o siguranță suficientă. Este cunoscut că unele instalații de protecție sau automatizare sînt acționate în timpul unei verificări periodice de un număr

de ori atît de mare, încît în funcționare normală aceasta ar fi corespuns unei perioade foarte lungi de timp; din acest motiv este bine să se reducă volumul încercărilor periodice la strictul necesar.

În scopul evitării celor arătate mai sus este bine ca personalul care deservește instalația de protecție sau automatizare, să o cunoască în amănunțime, din punct de vedere teoretic și practic.

Pentru ca verificarea să se facă într-un timp cît mai scurt posibil fără să se omită vreuna din probe, este corect ca verificarea să fie bine pregătită și efectuată după un program precis și judicios stabilit.

ANEXE

ANEXA 1

RELEE DE CURENT ȘI DE TENSIUNE ALTERNATIVĂ

1. Relee secundare instantanee de curent alternativ, tip RC și RT (fabricate de Uzinele Electromagnetica)

Sînt de următoarele tipuri constructive:

— releu maximal de curent tip RC—1;
— releu maximal de tensiune tip RT—1;
— releu minimal de tensiune tip RT—2.

Cifra 1 indică releele maximale, iar 2 pe cele minimale.

În marcarea completă a releelor se mai indică prin o a doua cifră tipul contactelor, astfel:

— 1 contact n.d. cu cifra 1;
— 1 contact n.î. cu cifra 2;
— 1 contact n.d. și un contact n.î. cu cifra 3.

Printr-un număr, conform tabelelor A—1 și A—2, se indică limitele de reglaj. De exemplu, RC—1—1/6 înseamnă releu maximal de curent cu 1 contact n.d. și cu limite de reglaj 1,5—6 A; RT—2—3/160 înseamnă releu minimal de tensiune cu 1 contact n.d. și 1 contact n.î. cu limite de reglaj 40—160 V.

Releele au două bobine, care pot fi legate la bornele exterioare ale releului în serie sau în paralel, după necesitățile de reglaj, astfel:

— la releele RC domeniul de reglaj este $(0{,}25 \ldots 0{,}5)I$ cu bobinele în serie și $(0{,}5 \ldots 1)I$ cu bobinele în paralel;

— la releele RT domeniul de reglaj este $(0{,}25 \ldots 0{,}5)U$ cu bobinele în paralel și $(0{,}5 \ldots 1)U$ cu bobinele în serie;

(I și U reprezentînd valorile maxime reglabile).

Alte date caracteristice ale releelor RC și RT, în afara celor indicate în tabelele A—1 și A—2, sînt:

Caracteristicile tehnice ale releelor RC-1

Tabela A—1

Limite de reglaj	Bobinele legate în serie			Bobinele legate în paralel			Date constructive ale bobinei	
	Curentul de acționare	Curentul admisibil permanent	Curentul limită termic de	Curentul de acționare	Curentul admisibil permanent	Curentul limită termic de	Numărul de spire	Diametrul sîrmei
A	A	A	1 s, A	A	A	1 s, A		mm
0,05— 0,2	0,05— 0,1	0,3	20	0,1— 0,2	0,6	40	500	0,4
0,15— 0,6	0,15— 0,3	1	45	0,3— 0,6	2	90	166	0,7
0,5 — 2	0,5 — 1	4	100	1 — 2	8	200	50	1,25
1,5 — 6	1,5 — 3	10	300	3 — 6	20	600	17	2
2,5 — 10	2,5 — 5	10	300	5 — 10	20	600	10	2
5 — 20	5 — 10	15	300	10 — 20	30	600	5	2
12,5 — 50	12,5 — 25	20	500	25 — 50	40	1 000	2	2,3
25 —100	25 — 50	20	500	50 —100	40	1 000	1	2,3
50 —200	50 —100	20	500	100 —200	40	1 000	1	2,3

Observație: Pe scara releului sînt indicate valorile curenților de acționare corespunzători legării în serie.

Caracteristicile tehnice ale releelor RT-1 și RT-2

Tabela A-2

Tipul releului	Limite de reglaj	Bobinele legate în paralel		Bobinele legat în serie		Datele constr. ale bobinei	
		Tens. de acționare	Tens. de regim	Tens. de acționare	Tens. de regim	Tensiunea	Rezistența
	V	V	V	V	V	V	V
RT—1	15— 60	15— 30	35	30— 60	70	30	590
RT—1	50—200	50—100	110	100—200	220	100	6 340
RT—1	100—400	100—200	220	200—400	440	200	21 500
RT 2	12— 48	12— 24	35	24— 48	70	30	590
RT—2	40—160	40— 80	110	80—160	220	100	6 340
RT—2	80—320	80—160	220	160—320	440	200	21 500

Observație: Pe scara releului sînt indicate valorile tensiunilor de acționare corespunzătoare legării în paralel.

— coeficientul de revenire: la releele maximale, 0,85—0,92;
la releele minimale, 1,1—1,26;
— puterea de rupere a contactelor: 500 W la 220 V c.c. (L/R=0,01) sau 250 VA la 250 V c.a. (cos φ=0,4)

Contactele trebuie să reziste, fără a se deforma, timp de cel puțin 20 min la un curent de 1 A.

Consumul propriu maxim este:

— la releele RC, pentru un curent egal cu curentul reglat minim, 0,3 VA;
— la releele RT, pentru o tensiune egală cu tensiunea reglată minimă, 2 VA.

Timpul propriu de acționare maxim (orientativ) este:

— la releele RC-1 și RT-1, 0,25 s pentru de 1,2 ori valoarea reglată și 0,05 s pentru de 2 ori valoarea reglată;
— la releele RT-2, 0,25 s pentru de 0,8 ori tensiunea reglată

Numărul maxim de acționări: 500.

2. Relee secundare instantanee de curent alternativ speciale

Relee maximale de curent seria ETD-551. Acestea se construiesc cu o sensibilitate mărită, pentru a fi folosite la protecțiile de curent homopolar contra punerilor monofazate la pământ în cazurile cînd curenții de punere la pământ sînt sub 10 A.

Caracteristicile tehnice ale releelor seria ETD-551

Tabela A-3

Relee maximale de curent seria ETD-551

Tipul	Limitele de reglaj, mA	Bobinele legate în serie		Bobinele legate în paralel	
		Curentul de acționare, mA	Impedanța Ω	Curentul de acționare, mA	Impedanța Ω
ETD—551/40	10 —40	10 —20	80	20—40	20
ETD—551/50	12,5—50	12,5—25	52	25—50	13
ETD—551/60	15 —60	15 —30	36	30—60	9

Coeficientul de revenire este $\geqslant$ 0,5; timpul propriu de acționare este de 0,1 s pentru de 3 ori curentul reglat și 0,5 s pentru de 2 ori curentul reglat.

Releul maximal de tensiune tip EN-526/60 D-M. Acesta se construiește cu limite de reglaj mult coborîte față de tensiunea de regim, pentru a putea fi folosite la protecțiile de tensiune homopolară, contra punerilor la pământ monofazate în rețelele cu punctul neutru izolat sau compensat.

Caracteristicile tehnice ale releului sînt:

— limitele de reglaj, 15—60 V (15—30 V pentru bobinele legate în paralel și 30—60 V pentru bobinele legate în serie);
— tensiunile de durată admisibile, 120 V pentru legătura paralel și 240 V pentru legătura serie;
— consumul propriu, 1,25 VA la 30 V (bobinele legate în paralel).

Pentru a fi stabil din punct de vedere termic, bobinele releului se leagă în serie cu o rezistență suplimentară VU-67, a cărei valoare este de 800 Ω/ramură (total 1600 Ω).

Celelalte caracteristici tehnice sînt similare releelor tip RT.

3. Releu temporizat maximal de curent tip RT p C-1 (fabricat de Uzinele „Electromagnetica")

Releul are un contact care poate fi n.d. sau n.î. Curentul de acționare al elementului de inducție poate fi reglat la: 2,5; 3; 4; 6; 8 și 10 A.

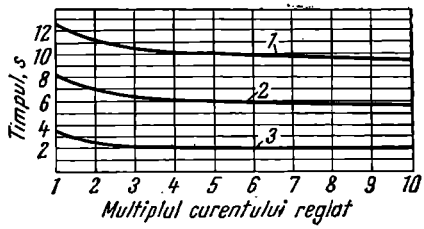


Fig. A-1. Curbele de variație $t=f(I)$ ale releului RTC-1:
1 — reglaj 10 s; 2 — reglaj 6 s; 3 — reglaj 2 s.

Temporizarea acestui element se poate regla de la 2 la 10 s, temporizarea fiind limitată dependentă de multiplul curentului reglat (fig. A-1).

Precizia acționării temporizate pentru multiplii curentului reglat este dată în tabela A-4.

Curentul de acționare al elementului electromagnetic rapid se poate regla la o valoare egală cu de 2, 4, 6 sau 8 ori curentul de acționare reglat la elementul de inducție

Tabela A-4

Multiplul curentului reglat	1	4	5	10
Abaterea admisă față de gradația temporizării, %	De la +25 pînă la +50	+2	0	−3,5

Timpul de acționare al elementului electromagnetic este de 0,3 s, la un curent de 8 ori mai mare decît curentul de acționare.

Precizia acționării rapide este dată în tabela A-5.

Tabela A-5

Multiplul curentului	2	4	6	6
Abaterea admisă față de gradație, %	±15	±18	±20	±20

Piesa de reglaj a elementului electromagnetic este prevăzută și cu gradația α, care se folosește în cazurile cînd releul trebuie să acționeze numai temporizat.

Coeficientul de revenire al dispozitivului de temporizare este 0,75—0,85.

Curentul limită termic de 1 s este de 40 ori mai mare decît curentul reglat minim.

Contactul n.d. poate închide un circuit de 5 A c.c. sau c.a., la o tensiune maximă de 220 V.

Contactul n.î. poate întrerupe numai circuite de c.a. de 2 A, cu tensiunea pînă la 220 V.

Consumul propriu este de 25 VA la un curent egal cu curentul reglat.

Anexa II

RELEE DIRECȚIONALE

1. Relee direcționale tip IMB-171 A și IMB-178 A

Releul de tip IMB-171. Se construiește în două variante, IMB-171 A/1 (I_n=5 A) și IMB-171 A/2 (I_n=1 A) la U_n=100 V c.a și 50 Hz.

Releul are sensibilitatea maximă cînd vectorul de curent este decalat înaintea vectorului tensiunii cu unghiul $\varphi=30\pm6°$ sau $\varphi=45\pm3°$ (în care caz în circuitul de tensiune este inseriată o rezistență suplimentară).

Puterea de acționare (sensibilitatea) releului este dată în tabela A-6.

Tabela A-6

Tipul	Unghiul φ al sensibilității maxime	Puterea de acționare VA, la curentul în releu	
		$I_r=I_n$	$I_r=10I_n$
IMB—171 A/1	30°	$\leqslant$ 13	$\leqslant$ 50
	45°	$\leqslant$ 25	$\leqslant$ 100
IMB—171 A/2	30°	$\leqslant$ 3	$\leqslant$ 10
	45°	$\leqslant$ 5	$\leqslant$ 20

Consumul: bobina de tensiune consumă la U_n 35 VA pentru $\varphi=30°$ și 25 VA pentru $\varphi=45°$; bobina de curent consumă la I_n 6 VA.

Coeficientul de revenire este K_{rev}=0,7

Timpul propriu de acționare, pentru o putere de 5 ori mai mare decît puterea minimă de acționare (din tabelă) este de cel mult 0,04 s.

Bobina de tensiune suportă permanent 1,1 U_n, iar bobina de curent 1,1 I_n.

Contactul n.d. al releului are la 220 V și 2 A o putere de rupere de 50 W într-un circuit de c.c. cu sarcină inductivă și 250 VA într-un circuit de c.a.

Releul de tip IMB-178 A. Se construiește în două variante, IMB-178 A/1 (I_n=5A) și IMB-178 A/2 (I_n=1A), la U_n=100 V c.a. și 50 Hz.

Releul are sensibilitatea maximă cînd vectorul de curent este decalat în urma vectorului de tensiune cu unghiul $\varphi=70\pm4°$.

Puterea de acționare a releului este:

— pentru releul IMB-178 A/1 la $I_r=I_n$, cel mult 20 VA iar la $I_r=10\ I_n$, cel mult 70 VA;

— pentru releul IMB-178 A/2 la $I_r=I_n$, cel mult 4 VA iar la $I_r=10\ I_n$, cel mult 14 VA.

Consumul: bobina de tensiune consumă la U_n cca. 15 VA; bobina de curent consumă la I_n cca. 6 VA.

Coeficientul de revenire este, $K_{rev}=0{,}7$.

Timpul propriu de acționare, stabilitatea termică a bobinelor și capacitatea contactelor sînt la fel ca la releele IMB-171A.

2. Relee direcționale tip RER sin φ și RER cos φ

Se folosesc la protecțiile contra punerilor la pămînt în rețelele cu curenți mici de punere la pămînt și anume: releul RER sinφ în rețelele necompensate (cu punctul neutru izolat), iar releul RER cosφ în rețelele compensate.

Caracteristicile releelor sînt:

— tensiunea nominală, 100 sau 110 V c.a.;

— curentul nominal, 5 A, 2 A, 1 A sau 0,5 A;

— puterea de acționare este dată în curbele din fig. A-2;

— consumul releelor este de 15 VA în circuitul de tensiune la 100 V, de 2,5 VA în circuitul de curent (în funcție de curentul permanent) și de 2—4 W în circuitul de semnalizare;

— capacitatea contactelor: curentul admisibil la închidere 10 A (c.c. sau c.a.); curentul admisibil la deschidere pentru 220 V și sarcină inductivă este de 1,2 A în c.a. și 0,2 A în c.c.

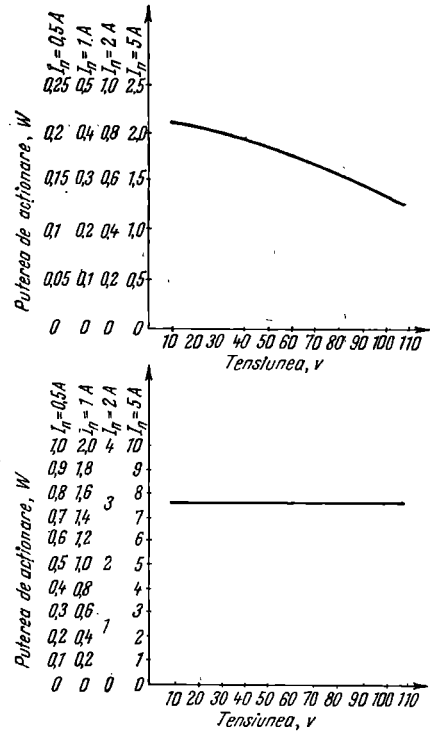


Fig. A-2. Puterile de acționare ale releelor RER:

a — releul RER sin φ; *b* — releul RER cos φ

RELEE DIFERENȚIALE

1. Releul diferențial tip RQ S-2 are următoarele caracteristici:

— curentul nominal, I_n=5 a;

— curentul permanent admisibil, 1,6 I_n;

— domeniul de reglaj al curentului de acționare, la frînare nulă, este cuprins între 1,5 și 3 A;

— curentul de acționare variază în funcție de curentul de frînare după curbele din fig. A-3;

— consumul în circuitele de c.a. este de 2,5 VA în înfășurările de frînare (în funcționare normală) și de 1—4 VA în înfășurările de lucru (la pornire); circuitele de c.c. consumă maximum 4 W;

— capacitatea contactelor: curentul admisibil la închidere 10 A (c.c. sau c.a.); curentul admisibil de durată 5 A (c.c. sau c.a.); curentul admisibil la deschidere, pentru 220 V și sarcină inductivă, este de 1,5 A în c.a. și 0,3 A în c.c.

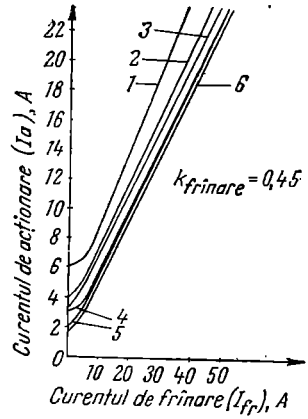


Fig. A-3. Curbele de variație $I_a=f(I_{fr})$ ale releului RQS-2:
1, 2, 3 — scurtcircuite *R—O, R—S, R—S—T*, la reglajul *I* = =1,5 A; *4, 5, 6* — scurtcircuite *R—O, R—S, R—S—T*, la reglajul I_a=3 A.

2. Releul diferențial tip RDS-2*) are următoarele caracteristici:

— curentul nominal, I_n=5 A;

— curentul permanent în înfășurările de frînare și de egalizare, 2 I_n=10 A;

— domeniul de reglaj al curentului de acționare este 3—12 A, în funcție de numărul de spire reglat al înfășurării de lucru, conform tabelei A-7 (înfășurarea de lucru avînd 60±5AS);

— dependența dintre curentul de acționare și curentul de frînare este dată în curbele din fig. 1.2.

— consumul total al releului este de cel mult 10 VA, la curentul nominal;

— capacitatea este aceeași ca a oricărui releu de curent tip RC.

Tabela A-7

Număr de spire	20	13	10	8	6	5
Curent de acționare, *A*	3	4,5	6	7,5	10	12

* Fabricat de Întreprinderea pentru raționalizări și modernizări energetice „IRME"-București.

RELEE DE DISTANȚĂ

1. Protecție de distanță tip RD 7+ pentru rețele legate direct la pămînt

Schema completă a protecției conține trei relee.

Releul de măsură RD 7+. Domeniul de reglaj al impedanței este 0,1—6Ω sau 0,05—3Ω pe fază în secundar. Domeniul de reglaj al curentului homopolar este 2,5—5A.

Reglajul treptelor de timp:

— treapta întîi nu este reglabilă, timpul de declanșare minimum fiind sub 0,1 s, la 2 I_n și $U=0$;

— treapta a doua este reglabilă între 0,3 și 2,5 s;

— treapta a treia este reglabilă între 0,3 și 4,5 s respectiv pînă la 6,8 s, în funcție de valoarea reglată la treapta a doua;

— treapta a patra este reglabilă pînă la 4,8 s respectiv pînă la 7 s, în funcție de reglarea treptelor a doua și a treia;

Sensibilitatea direcțională: tensiunea minimă de blocare este de 0,35 V la $(1 \ldots 20)I_n$ și $\varphi_k=30° \ldots 90°$.

Consumul este dat în tabela A-8.

Tabela A-8

Regimul de funcționare / Circuitele	În stare de repaos	În stare de funcționare
În circuitele de tensiune alternativă, pe fază, la U_n	7 V A	max. 140 VA
În circuitele de curent alternativ, pe fază, la I_n	max. 18 VA	max. 18 VA
I_n circuitele de curent continuu	max. 5 W	max. 165 W

Capacitatea contactelor de declanșare este de 10 A c.c. sau c.a. la închidere și 0,2 A ind. la 220 V c.c. la deschidere.

Rezistența admisibilă a arcului pentru o măsură corectă a distanței de defect, la capătul zonei, este 60% din impedanța reglată.

Releul de pornire de impedanță minimă Q_3. Valorile de acționare sînt cele din fig. 1-7, b.

Curentul de acționare al releului de curent homopolar este reglabil între 1,7 și 4 A.

Timpul propriu de acționare este 25 ms, la 3 I_n și $U=0$.

Consumul releului este de 6 VA în circuitele de tensiune alternativă; 0,4 VA pe fază la I_n în circuitele de curent alternativ, și maximum 60 W în circuitele de c.c.

Releul de comparare a tensiunilor V. Tensiunea de acționare este reglabilă între 36 și 48 V. Consumul maxim este de 4,5 VA în circuitele de tensiune.

Toate releele protecției RD7 + se construiesc pentru 50 Hz, 5 A și 100 V (sau 110 V) c.a. și 24, 60, 110 sau 220 V c.c.

2. Protecție de distanță tip D 110 (D 111), pentru rețele legate direct la pămînt

Toate elementele protecției sînt incluse într-o aceeași carcasă.

Parametrii constanți și reglabili ai elementelor de pornire și măsură sînt indicați în § 1.3.3.

Alte caracteristici ale releului de curent homopolar:

— domeniul de reglaj, 0,5—1,2 I_n;

— coeficientul de revenire, 0,85;

— curentul minim de pornire, cca. 0,5 I_n.

Sensibilitatea elementului direcțional este nelimitată la scurtcircuite mono- și bifazate și de 0,2 V la 2 I_n la scurtcircuite trifazate.

Reglajul de timp al treptelor de impedanță:

— treapta rapidă nu este reglabilă; are timpul de acționare între 0,05 s la $I_{sc} > 2\ I_n$ și 0,09 s la I_n;

— treptele 2, 3 și 4 sînt reglabile între 0—6 s;

— precizia elementului de timp, $\pm 2\%$, la U_n.

Protecția D 110 (D 111) este înzestrată cu blocaj la pendulații, care întîrzie acționarea protecției cu 1,2 s după dispariția pendulațiilor.

Corecția elementului de măsură, pentru obținerea unei aceleiași sensibilități la scurtcircuite monofazate și polifazate se poate realiza pentru $z_0/z_d = 0{,}7 \ldots 1$.

Consumul protecției este:

— în circuitele de c.c. — 5 W în repaos și 100 W în funcționare;

— în circuitele de curent alternativ — 18(10) VA la curentul nominal de 5 (1) A și 30 (16) VA la același curent nominal la scurtcircuite monofazate.

— în circuitele de tensiune alternativă — 7 VA în repaos și maximum 35 VA în funcționare.

Datele nominale ale protecției D 110 (D 111) sînt: 5 A sau 1 A și 100 V c.c., la 50 Hz și 110 sau 220 V (+10%; —20%) c.c.

Anexa V

RELEE DE CURENT CONTINUU

1. Relee de timp, de curent continuu, tip RTp-1 și RTp-2

Releele au un contact n.d. Releul RTp-1 are temporizarea reglabilă între 0,5 și 10 s cu o eroare de 0,20 s, iar releul RTp-2 între 0,25 și 4 s, cu o eroare de 0,15 s.

Temporizarea releelor este independentă de valoarea tensiunii aplicate bobinei, pentru $U > 0{,}7\ U_n$.

Tensiunea nominală U_n, 12; 24; 48; 110; 220 V c.c.

Tensiunea minimă de acționare, 0,65 U_n.

Tensiunea de revenire, 0,25 U_n.

Releul poate rămîne sub tensiune timp nelimitat.

Curentul de închidere al contactului, 10 A.

Puterea de rupere a contactului, 200 W la 220 V și 5 A c.c. sau la 380 V și 5 A c.a.

Consumul propriu, 15 W la releele de 12, 24 și 48 V; 16 W la 110 V; 17 W la 220 V.

2. Relee de semnalizare tip Rd S-2 și Rd S-3

Sînt relee de semnalizare cu trei poziții și două contacte n.d., cu o bornă comună. Releul RdS-2 este acționat la apariția mărimii controlate, iar releul Rd S-3 la dispariția mărimii controlate.

Mărimile de acționare (curentul sau tensiunea sînt continue).

Valorile minime ale mărimii de acționare: 0,65 U_n sau 0,7 I_n.

Valorile nominale U_n și I_n sînt date în tabela A-9, împreună cu alte date caracteristice.

Curentul limită termic de 1 s: 20 I_n.

Puterea de rupere a contactelor: 50 W la 220 V c.c. sau 250 VA la 250 V c.a.

Tabela A-9

Mărimea nominală	Număr de spire	Diametrul sîrmei, mm	Rezistența bobinei, Ω
Relee de curent			
0,010 A	18 000	0,10	2 200
0,015 A	12 000	0,12	1 000
0,025 A	7 200	0,17	320
0,050 A	3 600	0,25	70
0,075 A	2 400	0,31	30
0,100 A	1 800	0,35	18
0,150 A	1 200	0,44	8
0,250 A	720	0,55	3
0,500 A	360	0,80	0,7
1 A	180	1	0,2
Relee de tensiune			
12 V	3 400	0,21	87
24 V	7 000	0,15	360
48 V	14 000	0,11	1 440
110 V	32 000	0,07	7 500
220 V	61 000	0,05	28 000

Consumul propriu: 2 W pentru releul de tensiune, la U_n; 0,4 W pentru releul de curent, la I_n.

3. Relee intermediare de curent continuu tip RI-1 și RI-2

Releul RI-1 are 2 contacte n.d. și 2 contacte n.î.
Releul RI-2 are 4 contacte n.d.
Tensiunea minimă de acționare: 0,7 U_n.
Valorile nominale U_n sînt date în tabela A-10, împreună cu alte date caracteristice.
Timpul de acționare maxim la U_n: 0,05 s.

Tabela A-10

Tensiunea nominală V	Numărul de spire	Diametrul sîrmei, mm	Rezistența bobinei, Ω
12	2 400	0,41	29
24	4 100	0,29	100
48	8 700	0,20	425
110	19 500	0,14	2 150
220	40 000	0,09	10 000

Timpul de revenire, 0,04 s.
Contactele suportă fără să se deformeze un curent de 5 A timp de 20 min.
Puterea de rupere a contactelor este dată în tabelul A-11.
Consumul propriu la U_n, 6,5 W.

Tabela A-11

Felul curentului	Felul sarcinii	Tensiunea, V	Curentul, A
continuu	activă	220	1
idem	idem	110	5
idem	inductivă	220	0,5
idem	idem	110	4
alternativ	idem	220	5
idem	idem	127	10

4. Releu intermediar de curent continuu și alternativ tip RI-3

Releul poate fi construit cu 4,6 sau 8 contacte distincte, care pot fi asamblate astfel încît fiecare dintre ele să fie n.î. sau n.d. Tipul contactelor este indicat prin două cifre, prima indicînd numărul contactelor n.d. iar a doua numărul contactelor n.î. (de exemplu RI-3-42 are 4 contacte n.d. și 2 contacte n.î.).
Tensiunile de acționare nominală sînt: 12; 24; 36; 48; 110 și 220 V c.c. sau 100; 125; 220; 380 V c.a., la 50 Hz, cu limitele de variație admise: +10% și —25%.
Curentul maxim admisibil prin contacte este: 5 A pentru lungă durată; 20 A la închidere; 8 A la rupere la 220 V c.a., 4 A la rupere la 125 V c.c. pentru sarcini rezistive și 2,5 A pentru sarcini inductive.
Consumul maxim este 8 W în c.c. și 15 VA în c.a.

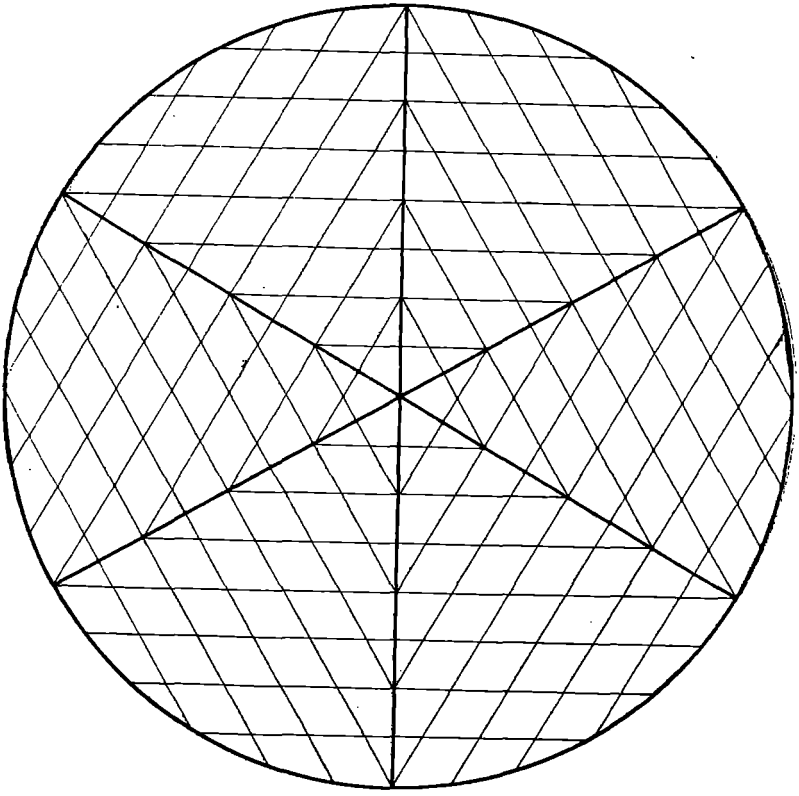
Tabelă pentru verificarea pe viu a protecției diferențiale a . . . . . din centrala . . . . . .

Nr. crt.	Locul scurt-circuitului	Nr. plotului transformatorului	Curentul în circuitele primare		Curentul în circuitele secundare									Observații
			Partea 110 kV I_I	Partea 6 kV (35 kV) I_{II} (I_{III})	Partea 110 kV I_I			Partea 6 kV I_{II} (I_{III})			Circuitul diferențial			
					R	*S*	*T*	*R*	*S*	*T*	D_R	D_S	D_T	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

DATA CONTROLAT VERIFICAT

DIAGRAMA VECTORIALĂ

Anexă la protocolul nr. . . . de verificare a protecției . . .
montată pe . . . . . din . .
Data . . . . . .



Tensiunea		Indicațiile wattmetrului					
		R		S		T	
R-O	R-S						
S-O	S-T						
T-O	T-R						
R-O	R-S						
S-O	S-T						
Constanta Wattmetrului							

Curenți			Tensiunile			
R	S	T	între faze		pe fază	
			R-S		R-O	
			S-T		S-O	
			T-R		T-O	
Reductori curent			Reductori tensiune			
Constanta ampermetrului			Constanta voltmetrului			

Bibliografie

1. I. Badea, Gh. Broşteanu, I. Chenzbraun, P. Columbeanu, Protecţia şi automatizarea sistemelor electrice, Bucureşti, Editura tehnică, 1963.
2. A. M. Fedoseev, Protecţia prin relee a sistemelor electrice, Trad. din l. rusă, E.E.S., 1954.
3. А. М. Федосеев, Основы релейной защиты, ГЭИ, 1961.
4. А. М. Беркович и В. А. Семенов, Основы техники и эксплуатации релейной защиты, Изд. 2-ое, ГЭИ, 1957.
5. Н. В. Чернобровов, Релйная защита, Изд, 2-ое, ГЭИ, 1959.
6. В. З. Никитский, Генератор техиической частоты, ГЭИ, 1962.
7. В. Н. Дамеиев, Моитаж и обслуживание устройств вторичной комутации, Профтехиздат, 1962.
8. V. S. Popov, Măsurări şi aparate electrotehnice de măsurat, Trad. din l. rusă, E.E.S., 1953.
9. I. Chenzbraun, Funcţionarea protecţiilor de distanţă cu releu de tip RD7 la suprasarcini şi posibilităţile de ameliorare a acestora, Bucureşti, Energetica nr. 12, 1962.
10. I. Badea, Protecţia transformatoarelor de putere contra defectelor interne printr-o metodă simplă, Bucureşti, Energetica nr. 4, 1961.

TABLA DE MATERII

1. Reglarea protecțiilor 5
1.1 Reglarea protecțiilor simple 5
1.2 Reglarea protecției diferențiale 10
1.3 Reglarea protecțiilor de distanță 23

2. Punerea în funcțiune și întreținerea regulatoarelor de tensiune automate ale generatoarelor și ale compensatoarelor sincrone 56
2.1 Regulatoare cu contacte alunecătoare 56
2.2 Sisteme de reglare a tensiunii prin compundare, cu caracter electromagnetic 67

3. Aparatajul folosit pentru verificarea instalațiilor de protecție și automatizare 76
3.1 Generalități 76
3.2 Aparate de măsurat folosite pentru verificarea instalațiilor de protecție și automatizare 76
3.3 Dispozitive pentru verificarea izolației circuitelor secundare . 97
3.4 Surse pentru variația curentului și a tensiunii 99
3.5 Surse pentru variația unghiului de defazaj 105
3.6 Surse pentru variația frecvenței 110
3.7 Instalații speciale pentru verificări complexe 111
3.8 Dispozitive speciale pentru racordarea instalațiilor de încercat, în circuitele secundare 117
3.9 Instalații pentru înregistrarea perturbațiilor din sistemele energetice 120

4. Exploatarea instalațiilor de protecție prin relee și automatizare . . . 127
4.1 Generalități 127
4.2 Punerea în funcțiune a instalațiilor de protecție și automatizare 129
4.3 Verificarea în laborator a elementelor de protecție și automatizare 132
4.4 Verificarea transformatoarelor de măsură 136
4.5 Verificarea schemei complete de protecție și automatizare . . 143
4.6 Proba pe viu a instalațiilor de protecție și automatizare . . . 149
4.7 Documentele principale pentru evidența instalațiilor de protecție și automatizare 157
4.8 Interpretarea acționării protecției și automatizărilor pentru analiza avariilor și lichidarea lor 164
4.9 Deservirea instalațiilor de protecție și automatizare . . . 166
Anexe 167
Bibliografie 181

Redactor responsabil: Ing. CROITORU MARCEL
Tehnoredactor: HOROWITZ STRUL

Dat la culeș: 08.02.1964. Bun de tipar: 22.04.1964. Apărut: 1964. Tiraj: 5 000+140 broșate. Hîrtie: semivelină de 63 g/m², 610×860/16. Coli editoriale: 11,77. Coli de tipar: 11,50 A.: 1426/1964. C.Z. pentru bibliotecile mari: 621.316. C.Z. pentru bibliotecile mici: 621.

Tiparul executat sub com. nr. 386 la Întreprinderea Poligrafică „Crișana" Oradea, str. Moscovei nr. 5, 6—8. — R.P.R.

Prețul lei 6.25

Editura tehnică